

LA APORTACIÓN A LA CIENCIA CLIMÁTICA DE A. DE HUMBOLDT EN EL *COSMOS*

Jorge Olcina

jorge.olcina@ua.es
Universidad de Alicante

Recibido: 7 noviembre 2019; Devuelto para correcciones: 3 abril 2020; Aceptado: 7 mayo 2020

La aportación a la ciencia climática de A. de Humboldt en el *Cosmos* (Resumen)

La consolidación de la climatología como disciplina científica conoce un impulso decisivo con los trabajos de Alejandro de Humboldt en las primeras décadas del siglo XIX. Este trabajo analiza el corpus teórico aportado por Humboldt a la ciencia climática en el *Cosmos*, donde se recogen ideas de trabajos anteriores del geógrafo prusiano y nuevas concepciones que se publican por vez primera en esta obra cumbre del autor. Se valoran sus concepciones novedosas sobre reparto de climas en la superficie terrestre a partir del estudio científico de las temperaturas y de sus relaciones con la distribución de la vegetación y los cultivos agrícolas, así como sus ideas sobre la formación de fenómenos meteorológicos y sobre circulación atmosférica general.

Palabras clave: Humboldt, climatología, método científico, isotermas, aportaciones a la ciencia climática, *Cosmos*.

The contribution to climate science of A. von Humboldt in the *Cosmos* (Abstract)

The consolidation of climatology as a scientific discipline knows a decisive impulse with Alejandro von Humboldt's papers in the first decades of the 19th century. This paper analyzes the theoretical corpus contributed by Humboldt to climate science in his *Cosmos*, where ideas from previous works of the Prussian geographer are collected and new climatic conceptions are published for the first time in this book. The paper includes the study of his novel conceptions on distribution of Earth's surface climates based on the scientific study of temperatures and their relationships with the distribution of vegetation and agricultural crops, as well as his ideas on the formation of meteorological phenomena and on atmospheric general circulation.

Key words: Humboldt, climatology, scientific method, isotherm lines, contributions to climatology, *Cosmos*.

Los fenómenos meteorológicos se inician ordinariamente por una perturbación lejana que ocurre en las corrientes de las altas regiones; luego poco a poco el aire frío o caliente, seco ó húmedo de algunas corrientes desequilibradas, invade la atmósfera, turba ó restablece su transparencia, amontona las nubes, dándoles formas macizas y redondas, o las divide y disemina en ligeros copos como la pluma blanda de las aves.

A. de Humboldt, *Cosmos*, Libro I

El modo de habitar modernizado es la condición de posibilidad del conocimiento moderno.

Por eso, cuando Humboldt pone en juego la expresión “esferas” no se trata ya de las imaginarias cubiertas celestes del doble milenio aristotélico, sino de las trascendentales “esferas de la intuición” que no designan realidad cósmica alguna, sino que incluyen los esquemas, conceptos auxiliares y radios de la razón con que se representa el espacio

P. Sloterdijk, *En el mundo interior del capital*, 2019.

Humboldt en el contexto científico de las primeras décadas del s. XIX

La climatología experimenta un impulso definitivo a lo largo del siglo XIX, reafirmando como disciplina de carácter científico. La consolidación de las redes de observación, con antecedentes notables en el XVIII, supondrá un avance principal puesto que los registros anotados en las estaciones meteorológicas permitirán aportar el valor de los datos como pieza básica de los estudios esta rama de la geografía. Sin olvidar el papel desempeñado por las observaciones de las capas de la atmósfera (troposfera y estratosfera) que se llevan a cabo a partir de este momento mediante globo aerostático. En definitiva, el dato meteorológico, a través de series más o menos amplias de registro, se convierte en elemento fundamental de los estudios climáticos a efectos de ratificación de hipótesis de trabajo o de negación de creencias sobre funcionamiento de fenómenos atmosféricos asumidas sin más en épocas pasadas.

En este contexto, jugarán un papel determinante las aportaciones de A. de Humboldt que dedicará varios trabajos a explicar el funcionamiento de la atmósfera terrestre y sus relaciones con otros elementos del medio natural. Sus ideas sobre cuestiones climáticas serán sintetizadas en el *Cosmos*, obra que puede asumir sin riesgo de exageración el carácter de primer estudio enteramente científico de climatología geográfica, con afirmaciones apoyadas en datos registrados. A partir de Humboldt, la disciplina climática experimentará una expansión constante hasta la actualidad, enriqueciendo sus métodos de trabajo y perspectivas de enfoque al calor de la mejora continua del conocimiento de la circulación atmosférica, de las herramientas de tratamiento de datos y de los sistemas de observación meteorológica.

En la caracterización, simple, de la obra de Humboldt como iniciador de la geografía física, el clima supone una contribución relevante en el conjunto de sus trabajos, pero no exclusiva. Humboldt considera este “envoltorio” de la superficie terrestre como elemento importante, junto al suelo, para explicar el resto de elementos del medio natural, principalmente de la vegetación y para comprender la distribución de las civilizaciones en la superficie terrestre. Humboldt es un erudito singular en la historia de las ciencias y su obra “geográfica” debe considerarse de síntesis, de interrelación entre aspectos físicos y humanos, que participa además de las ideas

filosóficas y científicas reinantes en la Europa de finales del siglo XVIII y primeras décadas del XIX.

Humboldt es un humanista integral que intenta explicar la morada del ser humano como resultado de la integración de los elementos del medio físico que conforman el espacio geográfico. Cultiva, sin radicalidad, las ideas del ambientalismo imperante en las décadas finales del siglo XVIII. Su propia definición de “geografía” como “el cuadro¹ del trabajo de la humanidad”, contenida en *Cosmos*, resume bien esta concepción integral de la disciplina. Humboldt, eso sí, inaugura una nueva forma de interpretar este “cuadro”, basada en datos, trabajo de campo directo y formulación de principios científicos.

La obra de Humboldt participa de la concepción del proyecto científico decimonónico en sus dos principios básicos: la asunción de la Historia como patrón del orden temporal de las cosas y la conciencia epistemológica del ser humano como asunción de una nueva positividad que se refiere a las relaciones entre naturaleza y naturaleza humana². Estas ideas, que se van fraguando durante sus años de formación académica en los años finales del siglo XVIII serán mejoradas por las aportaciones propias de Humboldt y su apuesta por la observación directa y el análisis de datos. De este modo, se convierten en un ideario sin vuelta atrás para la ciencia positiva. Humboldt aúna una formación ilustrada, la incorporación del sentimiento a la razón –propio del romanticismo alemán–, y la aceptación evidente del positivismo como guía para el desarrollo de una disciplina que se pretende científica³. En este sentido, es notoria la influencia de Goethe en su obra con el que compartirá una intensa relación intelectual⁴. Como el escritor alemán, Humboldt no buscará una genealogía de la naturaleza, esto es, una explicación detallada de cada aspecto o elemento integrante sino una unidad subyacente en distintas formas de vida⁵.

Al respecto de la relación naturaleza y ser humano, Humboldt afirma, en la Introducción al Libro I del *Cosmos* que “La descripción del Mundo, considerado como objeto de los sentidos exteriores, necesita indudablemente el concurso de la Física General y de la Historia Natural descriptiva, pero la consideración de las cosas creadas, enlazadas entre sí y formando un todo animado por fuerzas interiores, da a la ciencia que nos ocupa en esta obra un carácter particular”⁶.

Sloterdijk ha señalado que la gran aportación de Humboldt en la evolución del conocimiento del globo terrestre dentro del firmamento fue el cambio de perspec-

1 Humboldt emplea con frecuencia, en sus obras, esta expresión, que debe entenderse en acepción de la RAE como “espectáculo de la naturaleza” (*Cosmos*, Libro I).

2 Gómez Mendoza *et al.*, 1998, p. 21.

3 Miranda, 1977.

4 Buttner, 2001.

5 Richards, 2002.

6 Vid. Humboldt, Alexander von (2011) Introducción “Límites y métodos de exposición de la descripción física del Mundo”, p. 26 en *Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo* (edición e introducción de Sandra Rebok). Los libros de la Catarata y Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 959 p. + 2 mapas. Introducción “Límites y métodos de exposición de la descripción física del Mundo”, p. 26.

tiva que había sido característica en épocas pasadas: “en su fresco del mundo no eligió a la Tierra como punto de partida para mirar desde ella hacia la amplitud del espacio. Más bien lo que hace, en consonancia con el espíritu de su tiempo, es ocupar un emplazamiento discrecional en el espacio exterior, para acercarse desde allí a la Tierra, como si se tratara de un visitante de una estrella lejana”⁷. El giro transcendental que supone el *Cosmos*, según el filósofo alemán contemporáneo, esto es, la vuelta de lo “exterior” que había guiado el pensamiento sobre el globo terrestre durante centurias a “lo propio” constituye el núcleo de la descripción del mundo de Humboldt, así como de los proyectos filosóficos del sistema de los pensadores idealistas y postidealistas. Este giro, señala Sloterdijk, “troquela todo pensamiento antropológico posterior que conecta con los hallazgos de la época funcional de las ciencias del ser humano en el tardío siglo XVIII”⁸. Wulf señala, en este sentido, que *Cosmos* “era diferente a cualquier libro anterior sobre la naturaleza. Humboldt llevaba a sus lectores a un viaje desde el espacio exterior hacia la Tierra, y luego desde la superficie del planeta hasta su núcleo interior”⁹.

Si hay que destacar una influencia intelectual directa en las ideas y concepción que Humboldt va fraguando para la interpretación científica de la Naturaleza, en sus relaciones internas y con el ser humano, será el astrónomo, físico y matemático Pierre-Simon de Laplace. Será el autor que en mayor medida colaborará en el establecimiento del sistema de pensamiento científico positivo humboldtiano¹⁰ que aplicará a la disciplina geográfica. Laplace, cultivado en las ideas ilustradas, es un representante ejemplar de la difusión y universalización del modelo físico de la ciencia que se produce en las primeras décadas del siglo XIX. La relación académica entre Humboldt y Laplace fue estrecha, durante años. Humboldt había conocido al matemático francés en 1798 y desde entonces fue intenso el flujo de correspondencia entre ambos, con reconocimiento mutuo cada vez que uno de ellos publicaba alguna obra. Durante el viaje americano, Humboldt utilizará el procedimiento de medición de montañas establecido por Laplace en su famosa ley que manejaba las mediciones de altura del barómetro, aplicando un coeficiente que determinó comparando las mediciones barométricas con las geométricas. Humboldt fue, como señala Vías¹¹, el más profuso y meticuloso medidor de montañas de la historia de la ciencia¹².

Humboldt siempre reconoció en Laplace al científico que le enseñó un método de trabajo, de base matemática, para su utilización en la explicación de los fenómenos de la naturaleza¹³. En la “Exposición del Sistema del Mundo”, Laplace había formulado sus principios metodológicos, basado en otorgar un punto de vista astro-

7 Sloterdijk, 2019, p. 40.

8 Sloterdijk, 2019, p. 44.

9 Wulf, 2015, p. 304.

10 Durán Casas, 2018.

11 Vías, 2010.

12 En esta tarea encontraría Humboldt a un estrecho colaborador, de gran experiencia en las mediciones y cartografía de montañas, en el marino español Felipe Bauzá, que había integrado la expedición de Malaspina, colaborando en la medición del volcán Chimborazo. (Vías, 2010).

13 Knobloch, 2014.

nómico a la naturaleza, esto es, el erudito francés pretendió aplicar la filosofía natural mecánica que había mostrado su eficacia en la explicación de los astros a todos los fenómenos de la naturaleza, incluidos los que acontecen en la Tierra. Dado que, como señalan Ordoñez y Rioja¹⁴, la mecánica era la única ciencia natural matematizada a comienzos del siglo XIX, la apuesta de Laplace era ambiciosa porque suponía la matematización de otros ámbitos de la física, incluidos los relacionados con el medio natural. En este campo se incluía a la meteorología, que, como otros ámbitos de la física relacionada con el calor, los gases o la electricidad, no parecía hasta ese momento ser susceptible de matematización, quedando relegados sus principios a ser leyes meramente fenomenológicas, empíricas.

El empeño de Laplace fue tender un puente entre los fenómenos celestes y terrestres, para que estos últimos pudieran tener un tratamiento matemático como los primeros. Así pues, los principios del programa de la física de Laplace serán la matematización y la mecanización, como defensor a ultranza de la mecánica newtoniana. Esto último le valdría las críticas de científicos importantes en el siglo XIX que tacharían de determinista su obra, al considerar que todo lo ocurrido en el universo, era susceptible de expresarse mediante una ley (el conocido como “demonio” de Laplace¹⁵).

El esquema de estudio que plantea Laplace en su *Sistema del Mundo* (1796) será seguido por Humboldt a la hora de plantear los contenidos del *Cosmos*. En definitiva, se trata de una organización rigurosa, causal, de los diferentes temas a analizar en la explicación de los fenómenos naturales. En el caso de Laplace orientada a la explicación principal de los fenómenos celestes; en el *Cosmos* de Humboldt, con la pretensión de extender esa explicación a los fenómenos de la naturaleza inorgánica y orgánica de la Tierra (Cuadro 1).

Beck habla de “esquema de ordenamiento geográfico”¹⁶ para referirse al método de trabajo del Humboldt. Según el cual la descripción de un espacio geográfico, a cualquier escala, debía contener, por este orden: 1) la descripción de las formas de la superficie terrestre incluyendo su determinación en la red de triangulaciones de la Tierra (morfografía), 2) el magnetismo terrestre, 3) la descripción climática, 4) el estudio de los ríos, lagos y mares con todas sus características físicas (medición de las corrientes, perfiles, extensión, etc.), esto es, lo que compone la parte hidrográfica del medio natural, 5) la geografía vegetal, sin olvidar el papel del ser humano en la

14 Ordoñez y Rioja, 2006.

15 Aunque esta expresión ha hecho fortuna, Laplace no empleó el término “demonio” sino “inteligencia”. En su “Ensayo filosófico de las probabilidades” (1814) Laplace afirmaría que si “alguien” conociera la ubicación precisa de cada átomo en el universo en un momento presente, podría calcularse su posición pasada y la futura con la aplicación de las leyes de la mecánica newtoniana. Esta creencia era excesivamente optimista, puesto que con la mera aplicación de los conceptos y métodos matemáticos no se conseguiría ese supuesto; por un lado porque es imposible que la inteligencia pudiera llegar a conocer todas las fuerzas de la naturaleza y, por otro, porque las ecuaciones serían tan enormes que sólo las podría plantear y resolver ese “demonio” calculador en el que pensaba Laplace (Vid. *El determinismo científico en la ciencia newtoniana*. Disponible en www.instintologico.com. Consultado: agosto 2019).

16 Beck, 1997.

distribución de las especies, 6) la geografía zoológica, si bien este campo no sería tan cultivado por Humboldt como el anterior, y 7) la etnología, o estudio del comportamiento y de las relaciones del ser humano con su entorno.

Cuadro 1.-Comparación del método científico de Laplace y de Humboldt

Sistema científico del mundo (Laplace)	Cosmos (Humboldt)
El objetivo de Laplace era tender un puente metodológico entre los fenómenos celestes y los terrestres, de manera que los procesos relacionados con el calor, electricidad, magnetismo, luz y gases pudieran recibir un tratamiento matemático.	La Física del Mundo (Geografía Física) trata de:
Se trataba de hacer física al modo de la Astronomía.	Naturaleza inorgánica
En definitiva, persigue la “matematización y mecanización de la Naturaleza”	-La forma y densidad de la Tierra, su calor interno
Ofrecer una imagen unificada de la Naturaleza a partir del modelo metodológico que proporciona la mecánica celeste.	-la distribución del magnetismo en la Tierra (intensidad y dirección)
El sistema científico del mundo se organiza del siguiente modo:	-configuración de los continentes
1º.-Explicación de los movimientos aparentes de los cuerpos celestes	-extensión de su litoral en relación con su superficie
2º.-Explicación de los movimientos reales de los cuerpos celestes	-la distribución de las masas continentales en los dos hemisferios
3º.-Explicación de las leyes del movimiento	-la distribución del clima
4º.-Explicación de la teoría de la gravitación universal. Y dentro de este apartado se estudian algunos elementos del medio físico terrestre:	-las modificaciones meteorológicas de la atmósfera
-Figura de la Tierra	-carácter de las cadenas montañosas
-Flujo y reflujo del mar	-la altitud media de los continentes sobre el nivel del mar
-Estabilidad del equilibrio de los mares	-la posición del centro de gravedad de su masa
-Oscilaciones de la atmósfera	-la relación entre el punto culminante y la altura media de la línea de cumbres
	-la descripción de las rocas eruptivas que mueven las rocas sedimentarias
	-el estudio de los volcanes
	-la lucha del elemento líquido con la tierra emergida
	-los grandes ríos en su curso superior o inferior y en sus bifurcaciones
	-La acción erosiva de los ríos sobre las montañas
	Naturaleza orgánica
	-las relaciones de localización que existen entre los seres vivos y las partes sólidas o líquidas de la superficie terrestre (Geografía de las plantas y de los animales)
	-las divisiones de la especie humana en razas y tribus
	...y todos estos fenómenos se consideran en su mutua dependencia.
	(“trazar un cuadro general de la Naturaleza, que permita abarcar el conjunto de todas las fuerzas que concurren a animarla”)

Fuente: Elaboración propia.

Este esquema, sin que faltasen críticas, fue aplicado por diversos geógrafos alemanes a partir de los años veinte del siglo XIX. Humboldt entiende que el desarrollo de este esquema es el que posibilita la comprensión integral de los hechos geográficos en un medio. Es el esquema de lo que Varenio denominó *Geografía General*, que Humboldt caracterizó como *Geografía Física*, pero que integraba el componente humano como parte fundamental del análisis y descripción de un territorio. En este sentido, Humboldt se denominaba frecuentemente “physicien”, esto es, naturalista en el sentido de geógrafo integral.

Método de trabajo

Este trabajo pretende el estudio detallado de los aspectos atmosféricos y climáticos contenidos en el *Cosmos* de Humboldt, para valorar la aportación del geógrafo alemán en este campo de trabajo geográfico dentro de su contexto histórico y comprender la evolución posterior de la climatología a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Para ello se han revisado los cinco tomos que componen esta obra, a partir de dos ediciones del *Cosmos*:

a) La edición, de 1875, realizada por Eduardo Perié para la Biblioteca Hispano-Sur-Americana que se puede consultar en red¹⁷. Esta edición no lleva estudio preliminar y resulta de lectura poco cómoda, al disponerse las notas, con la relación de lecturas y trabajos citados por Humboldt, al final del texto, pero permite hacer búsquedas rápidas de los contenidos de la obra.

b) El volumen editado en 2011, de forma conjunta, por la editorial de “Los libros de la Catarata” y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con estudio preliminar y revisión detallada del texto a cargo de Sandra Rebok¹⁸. Esta edición mantiene la traducción de Giner y Fuentes de los cuatro tomos de la edición española editada en 1874-1875. Sin duda este volumen tiene una edición muy cuidada, con anotaciones en la relación de citas bibliográficas de los trabajos leídos por el propio Humboldt, que aparecen a pie de página, permitiendo una mayor uniformidad y coherencia a la lectura. Las citas a los textos de Humboldt del *Cosmos*, analizadas en este trabajo, se refieren a esta edición.

Junto a ello se ha revisado el trabajo de Humboldt sobre “Las líneas isotermas y la distribución del calor en el globo” con el desarrollo de la teoría de las isolíneas de representación cartográfica de las temperaturas, en la versión francesa, editada en París en 1817 (L’Imprimerie de V^o H. Perronneau)¹⁹, porque resulta fundamental para comprender las ideas que sobre esta cuestión se contendrán años después en el *Cosmos*.

Ha sido de gran interés para la comprensión de la concepción científica y, aún, climática de Humboldt la lectura de la obra “Vistas de las Cordilleras y Monumentos de los pueblos indígenas de América”, en la edición conjunta de Marcial Pons y la

¹⁷ Humboldt, 1875.

¹⁸ Humboldt, 2011.

¹⁹ Humboldt, 1817.

Universidad Autónoma de Madrid, con una excelente introducción de Nicolás Ortega Cantero²⁰, debido a los comentarios que se contienen sobre aspectos climáticos.

La comparación de los datos térmicos de localidades del hemisferio norte aportados por Humboldt, tanto en su trabajo sobre las isothermas, como en el *Cosmos*, con los valores actuales, para los mismos observatorios, ha sido posible a partir de la consulta de series homologadas de diversos organismos meteorológicos de Europa y Estados Unidos (vid. apartado 4).

Con todo ello, así como la lectura de artículos y ensayos sobre la obra de Humboldt que aparecen citados en el texto, bien como nota al pie o bien en la relación bibliográfica final, se ha compuesto un trabajo que pretende valorar la aportación del autor alemán a la disciplina climática en un contexto histórico y científico de gran interés como es el tránsito de los siglos XVIII y XIX, la relevancia posterior y actualidad de sus ideas en la evolución epistemológica de la climatología, así como la comparación del contexto climático relatado por Humboldt en el *Cosmos* con la situación del clima terrestre en la actualidad marcada por los efectos de un proceso de calentamiento por alteración del balance energético planetario debido a la presencia de gases de efecto invernadero en la troposfera terrestre.

Resultados: la aportación de A. Humboldt a la ciencia climática en el Cosmos

La Edad Moderna había tenido tres obras de carácter geográfico que habían reunido las principales aportaciones a la disciplina climática. Se trata de las contribuciones que desarrollan, sucesivamente, el padre Acosta (*Historia Natural y Moral de las Indias*, 1590), Varenio (*Geografía General*, 1650) y Kant (*Geografía Física*, 1801-02). En el caso del padre Acosta, las ideas contenidas en su obra, propuestas y maduras por el propio autor al calor de su vivencia en el Nuevo Mundo, suponían una ruptura con creencias de época clásica que se pensaban irrenunciables (p.e. inhabitabilidad de la zona tórrida). En general, estos tres autores señalaron en sus trabajos avances primeros para la interpretación de los movimientos atmosféricos (alisios, monzones, sistemas de presiones), para la explicación de diversos fenómenos meteorológicos y para la justificación de la distribución de los climas del mundo. En las obras de Varenio y Kant, se incluyen las propuestas para la explicación de la circulación de los vientos alisios -el fenómeno atmosférico que más interesaba en la Edad Moderna por la importancia de la navegación a vela a gran distancia- que elaborarán Bacon, Halley y Hadley, en los siglos XVII y XVIII, respectivamente. Kant se aventurará a proponer un modelo propio de circulación atmosférica general (Figura 1).

A comienzos del siglo XIX, merced a estas aportaciones, y a los trabajos sobre química atmosférica desarrollados por diversos autores (Boussingault, Dumas, Lewy, Guy-Laussac o Arago, entre otros) se dispone de un corpus disciplinar sobre tiempo y clima, basado en un conjunto de principios que permiten explicar la dinámica atmosférica y que comienza a disponer de series de datos de los elementos climáticos principales tomados en ciudades importantes del hemisferio norte (redes de obser-

²⁰ Humboldt, 2012.

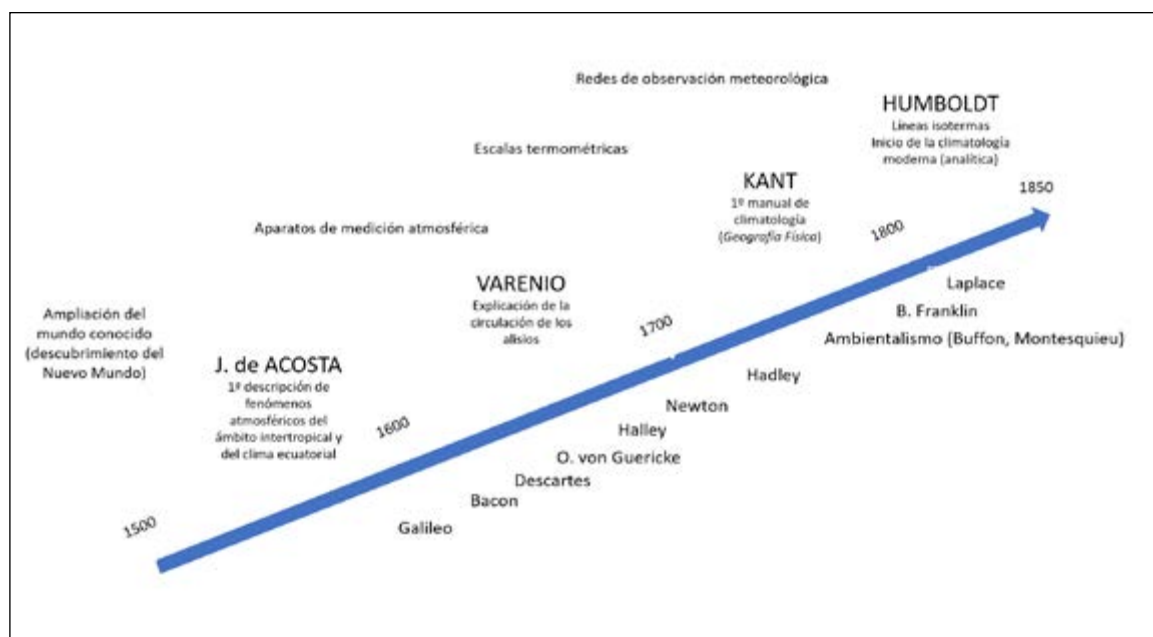


Figura 1.-Aportaciones fundamentales para la disciplina climática entre 1500 y 1850.
Elaboración propia

vación) lo que permite a la climatología ir consolidándose como una ciencia positiva. En este contexto, no se debe olvidar la importancia del “ambientalismo” del siglo XVIII²¹ que mantendrá su influencia en las décadas iniciales del siglo XIX, con figuras destacadas como Buffon y Montesquieu. Tanto en el *Cosmos*, como en trabajos anteriores de Humboldt, a pesar de su pretendido carácter científico con su apuesta por el análisis de los datos atmosféricos, sigue habiendo referencias constantes al papel del clima como “elemento civilizador”; si bien no se encuentran afirmaciones que señalen, de forma peyorativa, la distribución geográfica de las razas humanas en función del clima existente. Así, por ejemplo, en su trabajo *Vistas de América* (1810)²², Humboldt señala, en la presentación de las láminas que componen este “atlas” (en expresión empleada por el autor), que “aunque las costumbres de las naciones, el desarrollo de sus facultades intelectuales y las particulares características inscritas en sus producciones dependen al tiempo de un gran número de factores que no son el puridad locales, no cabe duda que el clima, la configuración de los suelos, la fisonomía de la vegetación y el carácter risueño o salvaje de la naturaleza influyen en el progreso de las artes y en el estilo que distingue sus creaciones.”²³. En este sentido, Humboldt confiere al clima, junto al suelo, el rasgo de elemento que imprime diferenciación regional en los rasgos que definen a las naciones.

Desde la publicación de la *Geografía Física* de Kant (1801-02) hasta la aparición del volumen I del *Cosmos* de Humboldt (1845), los avances en las ciencias del tiempo y clima, durante las primeras décadas del siglo XIX, resultan constantes. Se van con-

21 Urteaga, 1993.

22 Para este estudio se ha manejado la edición, con una excelente introducción del prof. Nicolás Ortega Cantero, editada en 2012 por la Universidad Autónoma de Madrid y Marcial Pons (ediciones de Historia).

23 Humboldt, 2012, p.33.

solidando las redes mundiales de observación meteorológica, que habían conocido embriones destacados en décadas pasadas (Sociedad Meteorológica Palatina), amparadas en la creación progresiva de servicios meteorológicos de países; Dove (ley del giro), Brandes (primer mapa sinóptico) y Gaspard de Coriolis (ley de Coriolis) aportarán formulaciones teóricas básicas para el desarrollo de la meteorología y climatología sinóptica, que encontrará un impulso importante en los trabajos de Espy, Loomis, Le Verrier y Buys-Ballot. En 1818 Howard, famoso por su clasificación de nubes propuesta a comienzos del siglo, publica el primer ensayo sobre clima urbano (*Climate of London*). Son notables en esta primera mitad del siglo XIX, los trabajos del marino Maury, preocupado por el conocimiento de la circulación atmosférica como medio de abreviar las travesías marítimas, que propondrá un nuevo modelo de circulación atmosférica general. En la década central de este siglo F. Arago, cuyos trabajos sobre meteorología conocerá y citará Humboldt en el *Cosmos*, publicará su ensayo sobre predicción meteorológica donde señalará la gran dificultad, entendible en su contexto histórico, de predecir el tiempo atmosférico. En suma, se asiste en esta primera mitad del siglo XIX, al movimiento inicial para el desarrollo de las disciplinas meteorológica y climática que verán avances muy destacados y acelerados a partir de 1850, con los trabajos de Buys-Ballot, Teisserenc de Bort, van Bebber o Köppen.

Humboldt se hace eco de numerosos ensayos de carácter meteorológico y climático editados por alguno de estos autores o por otros menos conocidos, entre finales del siglo XVIII y las primeras décadas del XIX en las páginas del *Cosmos*. La relación de autores, según temática abordada, que reseña Humboldt en el apartado sobre el clima de su *Cosmos* se recoge en el Cuadro 2. Las ideas climáticas que esbozará Humboldt en diferentes textos y que se sintetiza en el *Cosmos*, suponen el tránsito definitivo entre una concepción de la climatología con aportaciones muy destacadas pero de corte pre-científico y el desarrollo de la disciplina, dentro de la geografía, bajo unos principios científicos que ya no tendrá camino de retorno y que se irá enriqueciendo con los descubrimientos que aportarán las series climáticas más amplias, las observaciones aerológicas y los avances físicos y matemáticos, desde mediados del siglo XIX.

Esta es la gran aportación de Humboldt a la climatología: su labor de síntesis de estudios anteriores, su interés por el manejo de los datos registrados y la relación que establece entre el clima de los territorios y el aprovechamiento que de sus rasgos realiza el ser humano. En este sentido, se puede afirmar que cultiva una “climatología geográfica”, como sistema de correlaciones complejas entre la atmósfera, los océanos y las masas continentales, que se va desprendiendo de ideas y creencias anteriores gracias a la aplicación de un método científico. Destaca el hecho que en un libro dedicado a la explicación del universo no se mencione la palabra “Dios” que se sustituye por el principio de un “aliento” procedente de la propia Tierra que lo anima todo²⁴.

24 Wulf, 2015, p. 305.

Cuadro 2. Autores citados por Humboldt en el Cosmos dentro del apartado dedicado a la explicación de la atmósfera.

Temática climática	Autores citados en el Cosmos (Libro I)
Composición química de la atmósfera	J. B. Boussingault (composición química) M.J. Dumas (composición química) Saussure (vapores amoniacales) Liebig (vapores amoniacales) Lewy (relación oxígeno y estaciones del año) Martins (observaciones del oxígeno) Guy-Lussac (composición química)
Variaciones de la presión atmosférica	Laplace (anotaciones de la presión) Bravais (variaciones horarias de la presión) Dove (cambios bruscos de presión) Leopold von Buch (relación presión y viento) Lambert (observaciones barométricas)
Viento	Daussy (relación presión y viento) Dove (corrientes de viento) Kämtz (corriente del oeste superior) Lassen (monzones)
Temperaturas	Forster (comparación de temperaturas entre América del Norte y costa occidental de Europa) Knight (Europa occidental) Watson (Gran Bretaña) Trevelyan (Europa occidental) Mahlmann (Asia central)
Nieves perpetuas	Angrerius (sierra de Santa Marta) Darwin (Aconcagua) Gillies (Aconcagua) Mac Clelland, Hutton y Griffith (Himalaya) (Humboldt cita a Colebrooke, Web, Hodgson, Jacquemont, Royle, von Hügel y Vigne como experimentados viajeros que relataron la altura de las nieves perpetuas en el Himalaya)
Precipitación	Dove (relaciones entre vapor de agua, temperatura, presión y viento) Arago (mediciones de precipitación en París) Gasparin, de Schouw, Bravais, Martins (mediciones de precipitación en Europa central) Boussingault (precipitación en Marmato y Santa Fe de Bogotá) Kämtz (referencias a precipitaciones en Europa central)
Electricidad atmosférica	Peltier (electricidad y evaporación) De la Rive (electricidad y diferencia térmica de las capas atmosféricas) Duprez (relaciones electricidad, altitud y existencia de bosques) Guy-Lussac (funcionamiento de la electricidad en el interior de las nubes) Arago (clasificación de los relámpagos)
Circulación atmosférica	Laplace (célula de circulación de vientos) Kämtz (leyes de distribución de calor al este y oeste en Europa y América del Norte)

Elaboración propia

El *Cosmos* es la obra que encierra las esencias y savias del otoño de Humboldt, que había dedicado su intensa vida a formarse, conocer nuevas tierras en Europa y fuera de ella, y a aplicar sus conocimientos y método de trabajo en la explicación de los hechos geográficos que va encontrando a lo largo de sus viajes. En el prefacio del *Cosmos*, Humboldt confiesa el porqué de su edición: “Próxima a su fin mi existencia, ofrezco a mis compatriotas una obra que ocupa mi pensamiento hace ya medio siglo”²⁵. Es una obra científica y de reflexión sobre las interrelaciones entre los fenómenos del universo, a modo de conclusión del trabajo realizado a lo largo de su vida.

Hay varios momentos clave en la vida de Humboldt que justifican la realización ulterior de un trabajo como el *Cosmos*. El conocimiento y relación, en su etapa formativa, con intelectuales destacados de las últimas décadas del siglo XVIII (Laplace, Goethe, Blumenbach, Werner, Willdenow), así como con viajeros de notable reconocimiento como Foster. Pero sin duda un aspecto esencial en su consolidación intelectual fue la adquisición de numerosas experiencias científicas en su viaje americano (1799-1804)²⁶ y el posterior realizado por tierras de Rusia (1829). Asimismo, su estancia en París, entre 1804 y 1827 permitiría recopilar y dar forma a los abundantes materiales traídos del viaje por el Nuevo Mundo²⁷; será, sin duda, su período intelectualmente más fecundo que se plasma en las numerosas publicaciones que Humboldt lleva a cabo en esos años.

El propio origen de la idea de publicar el *Cosmos*, se remonta a las diversas conferencias que comenzó a dictar entre 1825 y 1828 en París y Berlín²⁸. Durante su estancia en París dictó charlas sobre la descripción física del mundo, en donde trataba de verificar si sus interrelaciones eran coherentes dentro de su teoría. Luego en Berlín pronunciará una serie de conferencias (*Kosmos-Lectures*)²⁹ que el geógrafo alemán comienza a impartir en la Universidad de Berlín el 3 de noviembre de 1827 y que se desarrollarán durante dicho curso académico hasta abril de 1828. Humboldt, había impartido una conferencia, algunos meses antes, en la Académica Real de Prusia, bajo el título de “Sobre las principales causas de la diferencia de temperatura”, en la que actualizaría las ideas de su celebre trabajo sobre las líneas isotermas, publicado en 1817³⁰. En las *Kosmos-Lectures*, Humboldt expone sus ideas y con-

25 Humboldt, 2011, p. 3.

26 El viaje americano de Humboldt surge, señala Meinhardt, tras descubrir Humboldt de la mano de Karl Ludwing Willdenow, el placer por la botánica y plantear ambos la realización de un viaje a tierras de climas cálidos (Meinhart, 2019: 45).

27 Como señala Capel, en el contexto de finales de la Edad Moderna, Humboldt pudo culminar, gracias a la generosidad del gobierno español de la época y la colaboración de núcleos científicos existentes en Cuba, Nueva Granada o Nueva España, el anhelo existente en los círculos científicos europeos que tenían América como un campo de experimentación de ideas y teorías sobre la naturaleza y la sociedad. De este modo la ciencia europea, al calor de las mediciones y datos obtenidos en las expediciones científicas americanas, se transformó y vivificó (Capel, 1994, p. 153).

28 Estas conferencias estaban pensadas para el público en general, rasgo heredado de la Ilustración francesa que consideró siempre necesaria la difusión del conocimiento y no sólo la apropiación a manos de intelectuales especialistas (Herrera, 2018).

29 Humboldt impartió un total de 77 conferencias. Si bien, algunas de ellas (16) se desarrollaron en la Sing-Akademie de Berlín.

30 Thomas and Erdmann, 2015.

cepciones sobre geografía física, teniendo tal éxito que deberá volver a repetirlas en la Academia de Canto de la misma ciudad. Debido al éxito de las conferencias y la asistencia de una cantidad considerable de público general a estas, no tardaron en aparecer las propuestas editoriales. Finalmente, en 1828 se firma un contrato con Johann Friedrich Cotta en donde se acuerda publicar no tan sólo el *Cosmos*, sino que también el conjunto de conferencias que dictó Humboldt en París y Berlín³¹. Pero no será hasta seis años después de la última conferencia impartida en Berlín, en 1834, cuando Humboldt sintió que estaba listo para empezar a preparar la publicación, y sus borradores crecieron y crecieron. El primer tomo de *Cosmos* se publicó en 1845, cuya primera edición se agotó en apenas dos meses. Los cinco libros del *Cosmos* fueron diseñados, en sus contenidos, por el propio Humboldt y publicado entre 1845 y hasta 1862, cuando se edita el quinto y último tomo de forma póstuma.

En el prologo del Libro I, Humboldt aclara su intención al emplear el término “cosmos” para titular su obra, lo que da razón de la concepción integral del medio en el geógrafo alemán: “En mi obra, la palabra “cosmos” está tomada como la prescriben el uso helénico, posterior a Pitágoras, y la definición muy exacta dada en el Tratado del mundo que falsamente se ha atribuido a Aristóteles: es el conjunto del cielo y de la tierra, la universalidad de las cosas que componen el mundo sensible”³². De los cinco tomos (libros) del *Cosmos*, el de mayor interés para el tema que ocupa este trabajo es el primero. En el Libro I, en efecto, se condensan los conocimientos de Humboldt sobre Física del Globo. Es, junto al tomo IV, el libro más científico del *Cosmos*.

Las cuestiones atmosféricas, de forma específica, se abordan en el *Cosmos* en el Libro I. Humboldt dedica a la atmósfera (“la segunda envuelta de nuestro planeta”³³, tras la hidrosfera, como él la denomina) toda la segunda parte del Libro I del *Cosmos*. Son unas páginas, no muy extensas, que condensan sus ideas sobre el funcionamiento de los fenómenos atmosféricos y la distribución de los climas sobre la superficie terrestre. El *Cosmos* sintetiza, siguiendo la filosofía general de esta obra, los trabajos previos realizados por Humboldt sobre aspectos climáticos y su relación con otros elementos del medio natural, principalmente, con la vegetación. Y se añaden trabajos consultados por Humboldt sobre aspectos atmosféricos, editados en las primeras décadas del siglo XIX.

La aportación básica de Humboldt sobre clima en el *Cosmos* es la incorporación de los datos a la explicación de los fenómenos atmosféricos y de la distribución de los climas sobre la superficie terrestre. Y aunque este método le sirve para entender los procesos que ocurren en la atmósfera próxima a la superficie terrestre, Humboldt conoce, asimismo, las mejoras en el conocimiento de las capas superiores de la atmósfera (ascensión en globo) de las primeras décadas del siglo XIX, e incluso “se

31 Rebok, 2011. La primera mención que se conoce sobre el proyecto del *Cosmos* se encuentra en una carta de 1834 a Varhagen von Ense, donde habla de la idea de describir todo el mundo material en una obra dotada de un lenguaje que estimule y satisfaga el ánimo (Herrera, 2018).

32 Humboldt, 2011, p. 33.

33 Humboldt, 2011 p. 168.

atreve” a avanzar un principio de explicación de la circulación atmosférica, basado, en gran medida, en las ideas expuestas por Laplace en su *Exposición del sistema mundo*. Pero no es Humboldt, como se ha querido destacar recientemente³⁴, precursor de las ideas de cambio climático actual³⁵ a partir de sus trabajos sobre las líneas isotermas,³⁶ que fueron desarrolladas con la única intención de mostrar el reparto espacial de las temperaturas sobre la superficie terrestre con explicación de sus causas.

El geógrafo alemán propondrá una definición de “clima” que difiere de su imagen de un Humboldt exclusivamente racional y científico, con conclusiones basadas básicamente en la observación, al señalar que es “el conjunto de variaciones atmosféricas que afectan nuestros órganos de una manera sensible”. Esto recuerda la definición de clima de Pédelaborde que lo caracterizó, a mediados del siglo XX, como secuencia de tiempos atmosféricos “percibidos y vividos” por el ser humano³⁷.

La aportación de Humboldt a la disciplina climática que se contiene en el *Cosmos*, se puede sintetizar en cuatro aspectos principales:

- A.-La teoría de las líneas isotermas
- B.-Explicación de otros elementos climáticos y fenómenos atmosféricos
- C.-Reparto regional de los climas: una visión aplicada.
- D.-Ideas sobre movimientos atmosféricos

Es necesario señalar una cuestión de interés. Los datos termométricos que incluye Humboldt en el *Cosmos* se expresan en la escala centígrada, aspecto de interés para poder realizar comparaciones con la realidad climática actual respecto a las primeras décadas del siglo XIX estudiadas por el geógrafo alemán. Recordemos que a finales del siglo XVIII se dispondrá de las cuatro escalas termométricas usuales o más difundidas en climatología: es decir, la de Fahrenheit (1724), con importante perduración aún en el ámbito anglosajón, la de Réaumur (1730), la de Celsius y la escala centígrada, merced a las investigaciones de estos físicos y matemáticos que llegan a conclusiones diversas en el diseño de sus escalas en virtud del líquido empleado como elemento sensible o los puntos de referencia establecidos en cada caso. No obstante, Humboldt había manejado también la escala Réaumur en otros trabajos previos, como fue la serie de anotaciones que llevó a cabo en su viaje a España, y que permitió trazar el perfil peninsular, con el “descubrimiento” de la meseta castellana³⁸ y caracterizar el clima de España y, de forma específica también, el de la meseta castellana³⁹. En el Libro IV del *Cosmos*, al comentar las ideas sobre la

34 Wulf, 2015.

35 Walls, 2009.

36 Grevsmühl, 2019.

37 Pédelaborde, 1959.

38 Puig-Samper Mulero y Rebok, 2007. El prof. Solé Sabaris fue el primer autor que señaló el “descubrimiento” de la Meseta castellana por parte de Humboldt (Sole Sabaris, 1966).

39 En el artículo sobre “la configuración del suelo de España y de su clima” (1816), Humboldt incluye datos de temperatura de Madrid en grados Réumur. Sin embargo, en el trabajo sobre “el clima de la Meseta” (1825) Humboldt incluye tablas comparativas de temperatura de diferentes

distribución del calor en la Tierra, incluye, asimismo, una tabla de profundidades y temperaturas medidas que aparecen expresadas en grados Réaumur⁴⁰. De estas cuatro escalas termométricas, la escala Réaumur caería pronto en desuso y serán las escalas centígrada y Fahrenheit las que terminarían por triunfar en el mundo científico, esta última con amplio empleo, aún hoy, en los países anglosajones.

La teoría de las líneas isotermas

Humboldt destina un amplio apartado de la sección dedicada a la “atmósfera” (Libro I) a presentar sus ideas sobre las líneas isotermas; lo que el geógrafo alemán denominó “teoría sobre las líneas isotermas y la distribución del calor en la Tierra”. Es, sin duda, la gran aportación de Humboldt a la disciplina climática que encierra su visión sobre la geografía y el método científico que debía aplicarse en su estudio. Norton Wise califica a Humboldt como “patrón de la curva”, en referencia a la importancia de la aportación que suponen las líneas de referencia climática o biogeográfica del geógrafo alemán, en el contexto científico europeo de la primera mitad del siglo XIX⁴¹. Humboldt fue fraguando su idea sobre la necesidad de mostrar en un mapa el reparto mundial del calor, a partir del trazado de unas isolíneas, en su estancia en París, tras el regreso de su viaje americano donde había recopilado múltiples anotaciones atmosféricas que resultaban de gran interés para compararlas con las que se iban publicando en Europa, merced al funcionamiento de redes incipientes de observación meteorológica, como se la señalado.

La idea última que motiva el trabajo del geógrafo alemán sobre la distribución del calor sobre la superficie terrestre se encuentra en la afirmación que Humboldt incluirá en el *Cosmos*, según la cual como “la atmósfera no tiene un fluido homogéneo eso permite la teoría matemática de los climas”⁴²; esto es, lo que más adelante se conceptualizará como la rama “analítica” de la climatología que entenderá el clima entendido como estado medio de la atmósfera. Humboldt, señala con acierto que “todo lo que altera los poderes absorbentes y emitido en algunos puntos situados en paralelos iguales, produce una inflexión en las líneas isotermas”⁴³. Está avanzando el protagonismo que irá cobrando la climatología de balances (balance energético planetario) a partir de la segunda mitad del siglo XIX y especialmente, en el XX.

Dos aspectos principales moverán la indagación de Humboldt en este tema: a) la posibilidad de trazar un cartograma donde se sintetizasen los datos termométricos recopilados por el autor, bien por propia anotación bien por lecturas de anuarios meteorológicos que se publicaban desde finales del siglo XVIII en algunas ciudades europeas o bien por informaciones procedentes de escritos de viajeros por regio-

ciudades europeas y de Madrid – a partir de las series aportadas por Felipe Bauzá-, en grados “centesimales”.

40 Humboldt, 2011, p. 675.

41 Norton Wise, 2007.

42 Humboldt, 2011, p. 172.

43 Humboldt, 2011, p. 172.

nes de Asia, América y África⁴⁴; y b) la búsqueda de una fórmula matemática que permitirá explicar las diferencias existentes en las anotaciones termométricas de localidades situadas a idéntica o similar latitud geográfica. Este segundo aspecto, es realmente el fundamento y razón de ser de su “teoría de las líneas isotermas”. Y Humboldt resolvió ambas cuestiones con gran maestría y una aparente simpleza que, sin embargo, encerraba años de trabajo y de cálculo a partir de la magnitud de series termométricas trabajadas por él.

Los estudios de Humboldt sobre las líneas isotermas se inician en 1817, con la publicación de su célebre “ensayo sobre las isotermas”, publicado en la revista de Anales de Química y Física en París, e impreso en extracto con el mapa principal de isotermas por la imprenta Perronneau⁴⁵. Se puede afirmar que en este ensayo Humboldt sienta las bases de la moderna climatología, en lo que se ha venido a denominar la rama “analítica” de esta rama geográfica⁴⁶. Este ensayo, con algo más de un centenar de páginas, es realmente un pequeño tratado de climatología regional, puesto que los observatorios analizados por el geógrafo y que contribuyen al trazado de cada isoterma son caracterizados dentro de un tipo climático básico (clima continental, clima de costas y clima de montaña) en los espacios continentales que se incluyen en su estudio (Europa, América, Asia).

Humboldt define la isoterma como la “línea dibujada a través de puntos en el globo terrestre que reciben igual cantidad de calor”⁴⁷. Relaciona aquí dos magnitudes físicas que, aunque relacionadas, expresan cuestiones diversas: una cualitativa (intercambio de energía) y otra cuantitativa (medición de dicho intercambio). El calor, desde una perspectiva climática, correspondería más a la radiación de balance energético existente en un punto determinado de la superficie terrestre. De manera que no sería del todo correcta la definición original de Humboldt.

Humboldt trazará sobre un mapa que comprende un espacio entre Norteamérica y Asia, -del hemisferio norte exclusivamente-, cinco isotermas principales para el geógrafo alemán (0°C, 5°C, 10°C, 15°C y 20°C); no obstante, su detallado estudio maneja también unas isotermas complementarias entre estas líneas maestras (2,5°, 7,5°, 12,5° y 17,5°), que, sin embargo, no aparecerán representadas en dicho mapa. El mapa que acompaña el trabajo de Humboldt incluye una isoterma de 25°C, prácticamente paralela a la línea de paralelo de 20° norte, que sin embargo no merece explicación de detalle como las anteriores. Y, finalmente, la línea equinoccial se nombra en el cartograma de Humboldt, como la “banda isoterma” de 27,5° C (Figura 2).

Knobloch ha señalado que el mapa elaborado por Humboldt procedía de los datos obtenidos en diversos observatorios del hemisferio norte, a partir del cálculo

44 Humboldt se basó en los registros de la Sociedad Palatina y la Sociedad Médica de París, en las observaciones de von Buch, Beguelin, Euler, Jurin, Cotte, Kirwan, Young y en las suyas propias por las tierras del Nuevo Mundo (vid. Thomas y Erdman, 2015).

45 Humboldt, 1817b. La edición que incluye el mapa de ese mismo año es la editada en el mismo año en París (vid. Humboldt, 1817).

46 Albentosa, 1976.

47 Humboldt, 1817, p. 9.

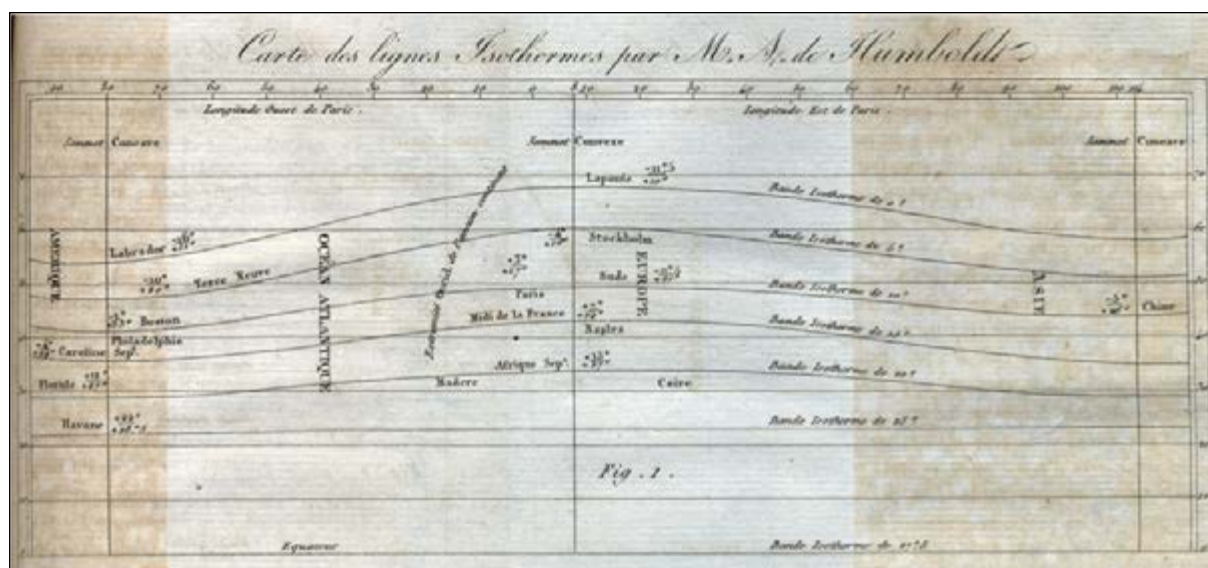


Figura 2.-Cartograma con representación de líneas isotermas principales sobre el hemisferio norte (entre América y Asia).

Fuente: Humboldt (1817), anexo.

lo de la temperatura media obtenida de la temperatura máxima y mínima diaria, proporcionada por estas dichas meteorológicas⁴⁸. Humboldt dedica unos párrafos a explicar el método de cálculo basado en la semisuma de estas dos variables térmicas (máxima y mínima diaria). Es la primera vez que un trabajo climático incorpora la explicación de este procedimiento de cálculo estadístico.

Los observatorios de referencia que utiliza Humboldt en su trabajo, porque dispone de series térmicas para analizar son: El Cairo, Argel, Natchez (Mississippi), Roma, Milán, Cincinnati, Filadelfia, Nueva York, Pekín, Buda(pest), Londres, París, Ginebra, Dublín, Edimburgo, Gotinga, Franeker, Copenhague, Estocolmo, Oslo, Upsala, Quebec, San Petersburgo, Turku, Trondheim, Lulea, Umea, Cabo Norte, Enontekio, Nain. Estas localidades principales para la determinación de las líneas isotermas, se complementa con otras que permiten precisar el dibujo de las isotermas, porque representan valores intermedios entre las líneas maestras. Forman parte de estas otras estaciones de análisis: Nimes, Poitiers, Nantes y Saint-Malo.

La representación de las líneas isotermas no es realmente un mapamundi, como tradicionalmente se ha señalado. Es un cartograma con las isolíneas ocupando un rectángulo delimitado entre 0° y 90° norte y entre 90° oeste y 114° este, con la longitud medida a partir del meridiano 0° de París. El rectángulo cartográfico no tiene dibujado el perfil de los continentes ni de los océanos y mares existentes en este espacio de representación, aunque Humboldt da pistas de ello al incluir topónimos entre las líneas isotermas.

Al estilo de los mapas de *klimatas* de época griega, y posteriores, Humboldt caracteriza cada línea isoterma con la denominación de la ciudad o ciudades principales que estarían directamente afectadas por la temperatura de esa isoterma o quedarían muy próximas a ellas (Cuadro 3).

48 Knobloch, 2005.

Cuadro 3. Ciudades principales que recorre una misma línea isoterma.

Línea isoterma	Localidad de referencia
0°C	Labrador, Laponia, Soliskamsky (Siberia)
5°C	Terranova, Estocolmo, San Petersburgo y Moscú
10°C	Filadelfia, Boston, Dublín, norte de París, Praga, Buda(pest), norte de Beijing (China)
15°C	Carolina del Norte, región del Midi (Francia), Montpellier, norte de Roma, norte de Nápoles, Nagasaki
20°C	Florida, Madeira, Chipre, El Cairo
25°C	La Habana
27,5° C	Línea ecuatorial

Fuente: Humboldt (1817). Elaboración propia.

El diseño de las líneas isotermas presenta unos extremos, oeste y este, cóncavos y un espacio central, con centro en el meridiano de París, convexo. De manera que, las temperaturas medias anuales de Europa, tal y como quedan representadas en el cartograma de Humboldt, son superiores a las existentes, para la misma latitud, en Norteamérica y en Asia.

La cuestión principal que justifica el enunciado de la teoría de las isotermas de Humboldt, es la determinación matemática de la causa de esta curvatura de la isotermas, entre Europa y Asia y el Nuevo Mundo, respecto a las líneas de paralelo geográfico. Así, por ejemplo, Humboldt determina que la isoterma que se traza sobre Asia y Europa a 45° de latitud, se localiza a 39° de latitud en Norteamérica. En el *Cosmos*, Humboldt plantea esta cuestión como una pregunta de investigación a la que responderá aplicando criterio geográfico-matemático: “¿A qué fracción del calor termométrico medio del año o del estío corresponde una variación de 1° de latitud sin salir de un mismo meridiano?”⁴⁹. Pero se da cuenta de que no se puede plantear de manera absoluta esta cuestión, puesto que en cada sistema de líneas isotermas de iguales curvaturas existe una relación íntima y necesaria entre 3 elementos: disminución del calor en sentido vertical, variación de temperatura por cada cambio de un grado de latitud geográfica y la relación que se da entre temperatura media de un punto situado sobre una montaña y la distancia al polo de otro punto de igual nivel que el mar.

Y para justificar esta respuesta Humboldt prepara un gráfico suplementario al mapa principal. Este gráfico, al tener un tamaño menor y estar situado en una posición inferior respecto al mapa de las isotermas no ha tenido tanto interés en los estudios sobre la obra de Humboldt, cuando realmente es el que justifica su teoría. En efecto, Humboldt trazará estas líneas de igual temperatura media anual y al comprobar que estas líneas no eran paralelas al Ecuador, pero que mantienen cierta

⁴⁹ Humboldt, 2011, p. 178.

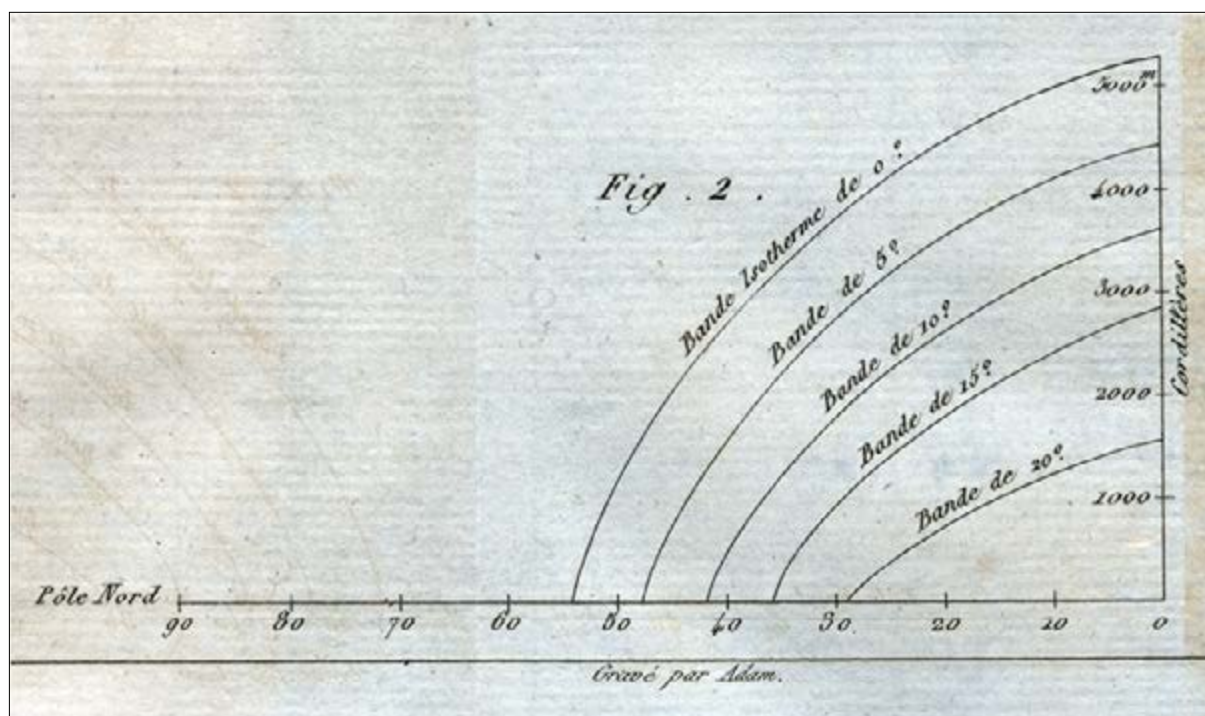


Figura 3.-Grafico de relación entre latitud geográfica, altitud y trazado de isothermas.

Fuente: Humboldt (1817).

regularidad en su trazado, se esforzaría en encontrar el principio que permitiera explicar la relación entre línea isoterma, posición latitudinal y altitud. La solución a esta cuestión la abordará Humboldt trazando un segundo gráfico que acompañe al mapa principal de isothermas, donde se conectarán la altitud de las cordilleras (ordenadas), la latitud geográfica (abscisas) con unas líneas (isothermas) de trazado irregular, pero acorde a los resultados obtenidos en el cartograma de isothermas, bajo el siguiente principio, que es en definitiva, su “teoría de las líneas isothermas”: dada una temperatura (isoterma), la latitud decrece si la altitud aumenta⁵⁰. En otras palabras, una misma temperatura media se localizará a mayor altitud a medida que nos aproximamos a la línea equinoccia (Figura 3).

Para el dibujo de las líneas isothermas, Humboldt hará el trazado de este a oeste, es decir, desde Eurasia a América, debido a la mayor información disponible de las estaciones meteorológicas de este lado del Atlántico respecto al lado americano. A pesar de que el ensayo está repleto de referencias a muchas más estaciones meteorológicas, que le sirven de guía para ir desentrañando el dibujo de las líneas isothermas principales, la síntesis final que permite el trazado definitivo está realizada, en este trabajo de 1817, de la información recogida en 30 estaciones meteorológicas principales de Asia, Europa y América, para una serie de análisis entre 1803-1813.

En el *Cosmos* Humboldt detalla las causas geográficas que pueden modificar las temperaturas (incremento o descenso) y en definitiva justificar el trazado de las isothermas sobre la superficie terrestre. Se trata de un conjunto de afirmaciones, al-

⁵⁰ Knobloch, 2005.

gunas de las cuales merecen revisión o comentario a la vista de los conocimientos actuales (Cuadro 4).

Cuadro 4.-Causas que aumentan o disminuyen la temperatura sobre la superficie terrestre según Humboldt (Cosmos) y carácter de la afirmación en relación con los conocimientos actuales.

Causas que aumentan la temperatura	Carácter de la afirmación
-Proximidad al Océano al Oeste, en la zona templada	Cierto. Salvo si existe una corriente fría en esa fachada litoral
-Configuración de los continentes, cuando presentan numerosas penínsulas	No del todo cierto. Depende de la existencia o no de mares fríos en las costas de esas penínsulas. O de la propia altitud media de los territorios de ese continente.
-Mares mediterráneos y golfos que penetran mucho tierra adentro	Cierto. Aunque con matices de posición latitudinal.
-Posición de una tierra relativamente a un mar libre de hielos que se extiende más allá del círculo polar. O con relación a un continente de extensión considerable situado en el mismo meridiano, en el ecuador, o al menos en el interior de la zona tropical	No del todo cierto. Depende de la circulación de corrientes marinas más o menos cálidas en la fachada litoral. En el ámbito intertropical depende de la altitud de la localidad en cuestión.
-Dirección suroeste de los vientos dominantes en periferia occidental de un continente de la zona templada, cuando las cadenas de montañas sirven de trinchera y de abrigo contra los vientos que vienen de regiones más frías	Cierto. Pero la segunda parte de la afirmación tiene consideración de causa por sí misma, no complementaria de la afirmación primera.
-Escasez de pantanos cuya superficie permanezca helada en primavera y comienzos de verano	No cierto. Es consecuencia y no causa.
-Carencia de bosques en un suelo seco y arenoso. La serenidad constante del cielo en los meses de verano. La proximidad de una corriente marina cálida.	No del todo cierto. La carencia de bosques es consecuencia de factores de circulación atmosférica, entre otros. Un cielo sereno en verano, en una tierra elevada, refresca el ambiente por la noche.
Causas que disminuyen la temperatura	Carácter de la afirmación
-La altura (altitud) sobre el nivel del mar en una región que no presente páramos extensos	Cierto. La segunda parte de la afirmación no es necesaria.
-La distancia grande del mar en la dirección del Oeste y del Sur, en el hemisferio norte	Cierto.
-La configuración compacta de un continente cuyas costas no tienen golfos	No del todo cierto. La configuración compacta en latitudes medias origina procesos de continentalización, en invierno y verano. La existencia de golfos matiza en función de su posición geográfica
-Una gran extensión de tierras hacia el polo y hasta la región de las nieves perpetuas	No cierto. Es una consecuencia y no una causa de descenso de temperaturas
-Una posición geográfica en las regiones tropicales de la misma longitud que esté ocupada por mares	No cierto.
-Una cadena de montañas que por su forma o dirección impida o dificulte el acceso de vientos calientes. O la proximidad de picos aislados a causa de las corrientes de aire frío que descienden a lo largo de sus vertientes	No del todo cierto. Es una apreciación de escala local. El juego de barlovento y sotavento en montañas de carácter sinóptico origina cambios en las temperaturas. Pero en todas las direcciones de sople. El aire frío que desciende por la ladera de un pico aislado experimenta fenómenos de compresión catabática y gana temperatura. Salvo que la ladera esté cubierta de nieve de forma importante.

-Bosques de gran extensión que impiden que los rayos solares actúen sobre el suelo.	Cierto. Pero deben ser áreas boscosas de latitudes medias y altas de gran extensión
-Los pantanos numerosos que forman en el norte heleros en medio de las llanuras, hasta la mitad del verano.	No cierto. La presencia de zonas húmedas heladas es consecuencia y no causa de condiciones térmicas frías.
-Un cielo nebuloso de verano, que intercepta parte de los rayos del Sol	No del todo cierto. Se trata de procesos coyunturales, salvo en áreas de capas de nubes bajas persistentes por presencia de corrientes marinas frías.
-Un cielo muy puro en invierno porque favorece la radiación del calor.	Cierto. Pero esa radiación del calor se produce por la noche (heladas de irradiación)

Fuente: Humboldt, *Cosmos*. Libro I. Elaboración propia.

Del trazado del cartograma de isothermas de Humboldt cabe hacer algunos comentarios. Realmente estamos ante una “carta” de líneas, pero no ante un mapa-mundi de isothermas. La representación de las isothermas sobre un mapa con continentes se llevará a cabo años después de la aparición del estudio de las isothermas de Humboldt a partir de los trabajos de C. Woodbridge (1823)⁵¹ y de H. Berghaus (1838)⁵².

Es de notar que el trazado de las isothermas, si se compara con un planisferio actual de isothermas, no responde al dibujo casi geométrico de dos zonas de concavidad laterales (América y Asia) y una de convexidad central (Europa). La falta de observaciones meteorológicas y de series largas de medición termométrica, explica la aparente simplicidad del trazado de isothermas que realiza Humboldt. Con series actuales, la convexidad de las isothermas del sector europeo es patente en los meses fríos del año, debido al efecto de la corriente del Golfo-Deriva Noratlántica, sobre las costas occidentales de Europa, pero no así en los meses cálidos del año. Humboldt es consciente de ello, y en el *Cosmos*, como antes en el trabajo original de las isothermas, había introducido dos isolíneas más (isoquimenas e isotheras) para referirse a las bandas mundiales de igual calor en invierno y verano, respectivamente. Al respecto, Humboldt indica que “las líneas que he llamado isoquimenas e isotheras no son en modo alguno paralelas a las líneas isothermas”⁵³, lo que le permite justificar la presencia de unos u otros cultivos en diferentes áreas del hemisferio norte, debido a las diferencias que experimentan las temperaturas en invierno y verano para una misma latitud geográfica en función del carácter continental, costero o de montaña del clima existente. Las líneas isoquimenas e isotheras no merecen representación cartográfica específica en el trabajo de Humboldt, si bien en su cartograma de las isothermas se indica, para algunas localidades, los valores de temperatura media de invierno y verano (p.e. París, Estocolmo, Nápoles, China, Boston, Florida, Buda(pest), Laponia). En definitiva, el cartograma de isothermas de Humboldt, elaborado en 1817, manifiesta la influencia, destacada por el geógrafo alemán, de los océanos sobre las

51 Woodbridge, 1823

52 Berghaus, 1838. En el Atlas se incluía una sección de “Meteorología y Climatología” (sección I) que, en la primera edición, contaba con 15 láminas, incluida una sobre distribución mundial de las isothermas.

53 Humboldt, 2011, p. 175.

temperaturas, con especial detalle en el Atlántico norte. Pero evidencia las carencias de observación propias de las primeras décadas del siglo XIX.

Si se realiza el ejercicio de superponer el mapa de isotermas de Humboldt⁵⁴, con una planisferio actual de isotermas medias anuales, en el actual contexto de forzamiento de calor atmosférico de causa antrópica, el trazado de las líneas principales habría que hacerlo, por término medio, sobre 1° de latitud al norte del diseño original del cartograma del geógrafo alemán. Este hecho es más evidente en el hemisferio norte que en el sur.

La invención y trazado de las “isotermas” ponía en cuestión la idea de las 3 “zonas” térmicas en la superficie terrestre, limitadas por fronteras rectilíneas de paralelo terrestre, que había sido mantenida desde época griega, con las ideas sobre habitabilidad de cada una de ellas, que experimentarán cambios importantes a partir del descubrimiento del Nuevo Mundo⁵⁵.

Con todo, como primer intento de representación de las “bandas de calor” sobre la Tierra, alejada de los criterios exclusivos de localización geográfica –latitud– señalados desde época griega, es un avance de primer orden para la disciplina climática, que abre el camino para aportaciones posteriores que podrán trabajar con una abundancia de datos mayor y más refinados métodos de tratamiento matemático-estadístico. Los trabajos de Humboldt sobre temperaturas, líneas isotermas y bandas de calor, supone, pues, el paso, en expresión del propio geógrafo alemán, de la concepción del “clima solar” al “clima real”, influido por otros factores y no exclusivamente por la latitud geográfica.

Un apartado detallado en el ensayo sobre las líneas isotermas, es el que dedica Humboldt a la localización de las “nieves perpetuas”. En el *Cosmos*, Humboldt define la línea de nieves perpetuas, como aquella altitud en la que las nieves permanecen en verano. Y señala la localización de las nieves perpetuas en algunas montañas o cadenas montañosas relevantes en América, Europa y Asia. Humboldt quedó impactado por la belleza de los paisajes nevados en las altas cumbres del Nuevo Mundo, que localiza y mide con gran exactitud. Asimismo, es conocedor de los trabajos que viajeros realizan por zonas de montaña de Europa y Asia. A partir de estos datos y noticias recopiladas, Humboldt propone una relación entre altitudes y temperatura media anual para la localización de la línea de nieves perpetuas: zona ecuatorial, 4.800 m., con una isoterma de +1,5°; zona templada, 2.700 m., con una isoterma de -5,7°C; y zona glaciaria, 1.050 m., con una isoterma de -6°C. Un aspecto singular al que dedica Humboldt varios párrafos de explicación es la diferencia existente en el Himalaya entre la localización de la línea de nieves perpetuas de la cara norte y la

54 Esta comparación es más correcta hacerla con el mapamundi de isotermas de la edición del *Physikalischer Atlas* de Berghaus, de 1892, con las aportaciones de J. Hann en la sección de “Meteorología y Climatología”. Este mismo aspecto puede comprobarse, por ejemplo, en los planisferios de la clasificación de Köppen-Geiger que ha realizado el Instituto para la salud pública veterinaria de la Universidad de Viena, para diferentes períodos internacionales de análisis de series de datos. Disponible en: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>. Consultado: agosto 2019.

55 Olcina Cantos, 2014.

cara sur de la cordillera. Humboldt hace notar que esta cota es inferior en la cara sur (3956 m.) respecto a la septentrional (4086 m. y achaca esta diferencia a la exclusiva influencia que ejerce sobre el lado norte de la cadena montañosa la presencia de la meseta del Tíbet, con su elevada altitud, que condicionaría el ascenso de la línea de nieves perpetuas. Desconoce Humboldt el impacto de las lluvias del monzón en la mayor acumulación de nieve de la cara meridional del Himalaya⁵⁶ y el efecto de la subsidencia anticiclónica dominante en la vertiente norte (Tíbet) de rasgos climáticos semiáridos.

En el *Cosmos*, hay una recopilación de todas las ideas que Humboldt ira recopilando desde el trabajo inicial de 1817 hasta la redacción del Libro I de su obra; e incluso seguirá mejorando su aportación inicial, hasta 1953. En efecto, al trabajo de 1817, siguieron otros en años siguientes sobre esta cuestión. De hecho, Humboldt no dejaría de trabajar sobre su teoría de las líneas isotermas hasta el otoño de su vida, ampliando el original en función de la mayor disponibilidad de datos⁵⁷. El último trabajo editado sobre las líneas isotermas, data de 1853. Cada uno de estos trabajos suponen mejoras en la versión inicial de 1817, que sin embargo conserva el mapa y el gráfico-síntesis de su teoría, que no sería actualizado en estos trabajos posteriores⁵⁸.

Con estas investigaciones sobre la distribución del calor en la tierra y el trazado de las líneas isotermas, Humboldt puso definitivamente de manifiesto con sus investigaciones la falsedad de la creencia, procedente de la filosofía natural griega, relativa a la simple determinación del clima por la latitud (las zonas térmicas del mundo habitable), introduciendo la influencia de otros factores como los vientos, la proximidad de los océanos, la inclinación, la naturaleza química, el color, la evaporación, la dirección de las cadenas montañosas⁵⁹.

Esta labor de recopilación de datos térmicos y trazado de isotermas tuvo continuidad en los trabajos de diversos autores, durante las primeras décadas del siglo

56 Robson et al., 2018.

57 Thomas and Erdmann, 2015.

58 Humboldt, no dejará de trabajar en su teoría de las líneas isotermas hasta su muerte. Destacan, en esta línea, los trabajos siguientes: Humboldt, Alexander von (1817): "Sur les lignes isothermes. Par A. de Humboldt (extrait)" In: *Annales de Chimie et de Physique*, T. 5 (1817), S. 102–112.; Humboldt, Alexander von (1827): "Über die Hauptursachen der Temperatur Verschiedenheit auf dem Erdkörper; von Alexander von Humboldt. Auszug aus einer in der öffentlichen Versammlung der K. Akademie hierselbst am 3. Jul. 1827 gehaltenen Vorlesung. In: *Annalen der Physik*, Jg. 1827, 9. St., S. [1]–27; Humboldt, Alexander von (1830): Über die Haupt-Ursachen der Temperatur- Verschiedenheit auf dem Erdkörper. In: *Abhandlungen der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften in Berlin*. Aus dem Jahre 1827. Berlin, 1830, S. 295– 316.; Humboldt, Alexander von (1833): "Ueber Meeresströmungen im Allgemeinen; und über die kalte peruanische Strömung der Südsee, im Gegensatz zu dem warmen Golf oder Florida-Strome." [Druck vorgesehen für: *Kleinere Schriften von Alexander von Humboldt*. Zweiter Band (nicht erschienen).] Korrekturbogen aus dem Schiller Nationalmuseum, Deutsches Literaturarchiv in Marbach a. N.: Cotta-Archiv, s. e., [1833–ca. 1855], S. 31–145; y Humboldt, Alexander von (1853): „Von den isothermen Linien und der Vertheilung der Wärme auf dem Erdkörper.“ In: *Kleinere Schriften. Geognostische und physikalische Erinnerungen*. Stuttgart; Tübingen: Cotta, 1853, S. 206–314.

59 Carramolino, 1994.

XIX. En 1829, Mr. Kuppfer, publicará un estudio bajo título “Distribución de la temperatura media del sol o líneas isogeotermas”, que Humboldt citará en el *Cosmos*. En este trabajo Kuppfer propone un nuevo concepto que entiende complementario del ideado por el geógrafo alemán, a partir del análisis de series de datos tomados a 25 m. de profundidad⁶⁰. Igualmente, las sucesivas ediciones del *Lehrbuch der Meteorologie*⁶¹ de Lüdwig Friedrich Kamtz revisaran los mapas de isotermas anuales del hemisferio norte utilizando la información procedente de más de 145 estaciones meteorológicas. Unos años después, Mahlmann publicó en 1841 el primer mapa mundial de isotermas anuales utilizando registros de 305 estaciones y refiriendo las temperaturas medias de los meses más fríos y más cálidos, así como el del invierno y el verano. Dove continuó esta labor, de forma independiente a Mahlmann, de quien se consideraba rival. Su principal aportación en este campo fueron las primeras series de mapas de isotermas mensuales introduciendo tres correcciones: la eliminación de las desviaciones derivadas del breve tiempo de observación con respecto a la media, la eliminación de las fluctuaciones diarias y la reducción de la temperatura en el lugar de observación al nivel del mar. En 1852 delimitó las zonas térmicas de la Tierra a partir de mapas mensuales de isotermas determinando medias para paralelos y meridianos de 10° en 10° de latitud y longitud respectivamente a partir de la información proporcionada por registros de más de 1.500 observatorios y discutió la influencia de las corrientes marinas, los vientos y el estado de agregación del terreno sobre la distribución térmica.

Por otra parte, el mapa de isotermas de Humboldt fue clave para la formulación de la “Ley del giro” de W. Dove (1827) puesto que este meteorólogo comprobó la relación entre presión, viento y temperatura, a partir del análisis de una serie de situaciones atmosféricas ocurridas entre el 25 de septiembre y el 6 de octubre de 1826. Dove trazaría un modelo de formación de torbellinos en Europa a partir de las observaciones barométricas de Lambert y del propio mapa de isotermas de Humboldt.

La curvatura de las isotermas del mapa de Humboldt proporcionaba también información sobre la dirección del viento supuesto que las corrientes que proceden del Sur son cálidas y las que proceden del Norte frías. Según esto Dove concluyó que las costas occidentales de ambos continentes eran cálidas porque en ellas dominaba la corriente SO, y las costas orientales frías porque en ellas dominaba la NE. Los torbellinos se formaban en las zonas de contacto entre las corrientes SO y NE. Esta conclusión será incluida por Humboldt en el *Cosmos*, en su justificación sobre las causas que explican el aumento y descenso de temperatura en una región.

Otros elementos climáticos y fenómenos atmosféricos

Frente a la exposición detallada de su teoría sobre la distribución del calor en la superficie terrestre y el trazado de las isolíneas de temperaturas, otros elementos

60 Kuppfer, 1829.

61 Halle, 1832

del clima y fenómenos atmosféricos merecen menos espacio en el *Cosmos*, pero sus consideraciones son igualmente interesantes.

De entrada, Humboldt propone seis características de la atmósfera que relacionadas entre sí favorecen el desarrollo de fenómenos meteorológicos:

- la composición química del aire
- las variaciones de su diafanidad
- la propia coloración del aire
- la manera cómo se polariza la luz
- los cambios de densidad o presión, temperatura, de humedad o de tensión eléctrica
- la conducción del sonido. Esta última característica es esencial para el desarrollo “del lenguaje, las ideas y las relaciones sociales para los pueblos”.

Humboldt es buen conocedor, como se ha señalado, de las investigaciones y avances sobre la atmósfera terrestre que se van produciendo entre finales del siglo XVIII y las primeras décadas del siglo XIX. En el *Cosmos* se refiere a los trabajos sobre química atmosférica de Guy-Lussac, Dumas y Boussingault, Saussure y Liebig, Lewy. Los trabajos de este último le parecen especialmente relevantes porque demostró las variaciones del oxígeno con las estaciones del año y las diferencias, en su opinión, existentes entre las localidades de la costa y del interior, lo que venía a completar las ideas demostradas sobre los cambios en la composición de la atmósfera terrestre con la altitud, ya señalados por varios Cronistas de Indias en el siglo XVI⁶².

De enorme interés en la relación estrecha que Humboldt reconoce entre fenómenos atmosféricos y circulación oceánica. Y ello justifica, por ejemplo, la circulación de los alisios para Humboldt. Alude, en este aspecto, una frase de Cristóbal Colón “las aguas van con los cielos”⁶³. Para Humboldt el clima terrestre es un juego de influencias entre las “masas opacas” (continentes) y las “diáfanas” (océanos). Para Humboldt es importante el papel de los océanos como agente regulador del clima, debido a su capacidad de “templar las temperaturas”. Humboldt señala que este rasgo lo señaló por primera vez el geólogo Leopoldo de Buch.

Para Humboldt los elementos climáticos principales que definen el clima terrestre y que tienen afección sobre el ser humano son: la temperatura, la humedad, los cambios en la presión atmosférica, la calma atmosférica, el viento, la tensión eléctrica, la pureza del aire (o la no presencia de miasmas) y el grado ordinario de transparencia y serenidad del cielo. A este último aspecto otorga Humboldt gran importancia puesto que lo hace responsable de la irradiación del suelo, del desarrollo orgánico de los vegetales, de la madurez de los frutos, y de la “moral del hombre” y la armonía de sus facultades, en un guiño claro a las ideas ambientalistas del siglo XVIII y, particularmente, a Montesquieu.

Humboldt dedica un apartado menor a la precipitación, señalando algunos lugares del mundo lluviosos de latitudes intertropicales (La Habana, 2761 mm. anuales; costas del Indostán, entre 2924 y 3248 mm.) o latitudes medias (París 507 mm.;

62 Olcina Cantos, 2014.

63 Humboldt, 2011, p. 166.

Londres, 632 mm., Ginebra, 776 mm.) y secos (entre las cuencas del Irtysh y el Obi). Indica, con acierto, que la temperatura, la presión atmosférica y la dirección del viento son importantes para el contenido de humedad de la atmósfera y el posible desarrollo de precipitaciones; y avanza, sin detenerse a su explicación, las diferencias mundiales en el reparto de la humedad y la precipitación debido a que “la cantidad de vapor contenido en la atmósfera aumenta con la temperatura” y este elemento “debe variar según las horas del día, las estaciones, latitudes y alturas”⁶⁴.

Humboldt dedica un apartado amplio del Libro I del *Cosmos* a la explicación de la electricidad atmosférica. Se refiere a los trabajos de Peltier, Duprez, De la Rive, Guy-Lussac y Arago, como excelentes aportaciones llevadas a cabo en este campo en las primeras décadas del siglo XIX. En el fondo, se refiere al fenómeno atmosférico del rayo que integra, como se sabe, una parte luminosa (relámpago) y otra sonora (trueno). Humboldt es partidario, como diversos científicos de su época, de la existencia de una carga eléctrica esencialmente negativa sobre la superficie terrestre, en contraste con una carga eléctrica positiva de la atmósfera. En la actualidad, se sabe que el reparto de cargas eléctricas entre el suelo y una nube de tormenta es variado y que las descargas (rayos) pueden adquirir diferentes manifestaciones (nube-tierra; tierra-nube y nube-nube). Humboldt señala que la electricidad atmosférica es mayor sobre continentes que sobre el océano y ello porque “en tesis general puede decirse que el equilibrio de las fuerzas eléctricas está sujeto a perturbaciones menos frecuentes allí donde el océano aéreo descansa sobre un fondo líquido, que en las atmósferas continentales”⁶⁵. Este aspecto se ha demostrado cierto como reflejan las cartografías actuales de descargas eléctricas en el mundo⁶⁶.

Humboldt hace un intento de relación entre nubosidad y electricidad atmosférica. Señala que las nubes grises (nimbostratos) tienen una electricidad “resinosa”, mientras que las nubes blancas, rosadas o anaranjadas, la poseen “vítrea”, sin ahondar en estos calificativos. Maneja la clasificación de relámpagos de Arago, que distingue entre: a) relámpagos en zig-zag, b) relámpagos sin formas definidas y relámpagos en forma de globo de fuego. Hace notar Humboldt que a veces se ven relámpagos sin que se oiga el trueno, como advirtieron los trabajos de Nicholson y Beccaria⁶⁷.

64 Humboldt, 2011, p. 181.

65 Humboldt, 2011, p. 182

66 Vid. al respecto el mapamundi de descargas eléctricas elaborado por Vaisala en 2018, a partir del estudio de una serie entre 2013 y 2017, en la que se midieron 8.761.390.744 rayos en todo el mundo. Esta compañía es líder mundial en datos integrales sobre rayos y ha elaborado dicho mapa a partir de la recopilación de datos de su red global de detección de rayos, Global Lightning Dataset GLD360. Disponible en: <https://www.vaisala.com/en/press-releases/2018-04/vaisala-releases-global-lightning-data-strokes-2013-through-2017> (Consultado: agosto 2019).

67 En la actualidad se sabe que el sonido mayor o menor del trueno está en función de la distancia de una tormenta respecto al punto de observación y de la propia intensidad de la descarga. Todo rayo provoca un sonido, lo que ocurre es que en ocasiones el sonido queda por debajo de la capacidad de audición del oído humano. De ahí que la contabilidad de los rayos que se realiza en la moderna observación meteorológica tenga en cuenta la descarga eléctrica y no el sonido generado por la onda de choque causada por el rayo.

Se refiere, por último, Humboldt al contraste existente entre la costa peruana, “donde nunca truena”⁶⁸ comparado con lo que ocurre en el resto de la zona intertropical, “donde casi diariamente se forman tempestades cuatro o cinco horas después de que el sol haya alcanzado su cenit”⁶⁹.

Resulta curioso comprobar que, a pesar de la popularidad alcanzada por los trabajos sobre electricidad de Benjamín Franklin, Humboldt no cita a este autor en el apartado dedicado a la explicación de la electricidad atmosférica del *Cosmos*. Y ello que Humboldt había conocido los trabajos de Franklin en su etapa formativa, por la influencia del naturalista y viajero Georg Foster⁷⁰.

Resulta significativa la ausencia de un apartado específico, en esta sección de explicación atmosférica del *Cosmos*, sobre la presión atmosférica. Y ello a pesar de la importancia que Humboldt había dado a las mediciones barométricas en trabajos anteriores, tanto en su viaje por España, donde dichas mediciones resultan fundamentales para el “descubrimiento” topográfico de la meseta central de la península Ibérica⁷¹ o para la caracterización del clima de España⁷², o en el propio viaje americano para el cálculo de altitudes de las montañas andinas⁷³. En efecto, el Libro I del *Cosmos*, apenas incluye mención a la presión atmosférica como elemento climático importante en la caracterización de los climas terrestres; hay apuntes menores sobre la presión como elemento que determina la circulación del aire en todas las capas atmosféricas, o como aspecto a tener en cuenta para la caracterización de la electricidad atmosférica, pero no se aportan datos concretos.

Por último, aunque Humboldt no dedica un apartado específico a la explicación de las nubes hace mención en diferentes pasajes a la importancia de las mismas como elemento anunciador de los movimientos de la atmósfera (“el aspecto de las nubes que da a los paisajes tanto movimiento y encanto, nos anuncia lo que pasa en las altas regiones de la atmósfera”⁷⁴) y, es conocedor, asimismo, de la clasificación de nubes de Howard (1802), si bien, no cita específicamente este trabajo en el *Cosmos*. Es curioso este hecho debido a la amplia difusión y aceptación que había tenido la clasificación de nubes del farmacéutico inglés y de las alabanzas que la misma había recibido por parte de Goethe, que compartió con Humboldt una estrecha relación científica y personal. Humboldt señala que las corrientes atmosféricas, en función de su carácter frío o cálido “amontona las nubes, dándoles formas macizas y redon-

68 Resulta curiosa esta mención a la costa peruana y su clima seco, desértico, debido, justamente, a la circulación frente a las costas de este país de una corriente marina fría, que recibiría la denominación de “corriente de Humboldt” en honor al geógrafo alemán.

69 Humboldt, 2011, p. 183.

70 Humboldt conoció a Georg Foster en 1789 en un viaje realizado a Maguncia, donde éste era bibliotecario y desde entonces se mantuvieron en contacto (Meinhart, 2019: 55).

71 Humboldt, 1825.

72 Humboldt, 1816.

73 Wulf, 2016.

74 Humboldt, 2011, p. 184.

das (*cumulus*), o las divide y disemina en ligeros copos como la pluma blanda de las aves (*cirrus*)”⁷⁵.

Reparto regional de climas: una visión aplicada

El Libro I del *Cosmos* incluye precisas descripciones del clima reinante en diferentes zonas del mundo en relación con la detallada justificación que realiza Humboldt del trazado de sus líneas isotermas. De manera que se esboza una distribución territorial de climas que no plasmará, sin embargo, en un mapamundi de propia factura, aunque sus ideas permitirán el trazado de este mapa mundial de climas con posterioridad. En realidad, los párrafos del *Cosmos* (Libro I) dedicados a la explicación del clima existentes en diferentes territorios de la superficie terrestres derivan de trabajos anteriores de Humboldt (teoría de las líneas isotermas, geografía de las plantas, viaje por Rusia, geografía de Asia, viaje al Nuevo Mundo). No intenta Humboldt realizar una clasificación climática, al estilo de las que se desarrollarán, a lo largo del siglo XIX, por Supan o Koppen, de carácter algebraico o biogeográfico. Si bien en el ensayo sobre las líneas isotermas, Humboldt había esbozado una clasificación sencilla al distinguir entre climas continentales, climas de costa, clima de islas y climas de montaña, para caracterizar los observatorios meteorológicos empleados para el trazado de las líneas isotermas o bandas de igual calor sobre la superficie terrestre. A estas cuatro variedades climáticas generales, Humboldt añadió otras dos variedades derivadas, exclusivamente, de la posición cartográfica de algunos observatorios en el dibujo trazado por sus líneas isotermas (posición en la parte cóncava oriental u occidental y posición en la parte convexa de una línea isoterma). Humboldt, por tanto, no presenta ninguna clasificación climática como tal. Su aportación en este campo de la climatología regional vendrá de la mano de la representación de “pisos biogeográficos”, que responden a unos rasgos climáticos concretos -“pisos climáticos”- en las áreas de montaña, en sus trabajos sobre Geografía de las Plantas, derivados de sus anotaciones en sus viajes (Canarias, Nuevo Mundo)⁷⁶.

En el *Cosmos*, Humboldt relata los rasgos del clima de Europa y Asia, manejando generalmente el método comparativo. En este sentido, indica que el avance de la climatología ha tenido un momento clave en el hecho de que la civilización europea se haya establecido sobre dos continentes opuestos. Puesto que de este modo es posible comparar los datos atmosféricos, principalmente de temperatura, entre ambas orillas para idéntica latitud. Hay pues, una exaltación al valor de los datos climáticos como criterio fundamental a la hora de explicar el reparto de climas del mundo. Y, asimismo, un guiño evidente a las ideas de la acción civilizadora del viejo mundo sobre el nuevo, que recuerda las ideas de Condorcet o Montesquieu.

⁷⁵ Humboldt, 2011, p. 184.

⁷⁶ Vid. entre otros, *Ensayo sobre la Geografía de las plantas* (1805), *Cuadros de la naturaleza* (1808), *Sitios de las cordilleras y de los monumentos de los pueblos de la América* (1810) y *Relación histórica del Viaje* (1814-1831). Gómez Mendoza, J. y Sanz Herraiz, C., 2010.

Así justifica la benignidad de los climas litorales de Europa, frente a los climas del interior del continente, “de estíos más cálidos y más crudos sus inviernos”⁷⁷, por la acción “del océano que baña las costas occidentales del antiguo mundo, al mar libre de hielos que la separa de las regiones polares y, sobre todo, a la existencia y situación geográfica del continente africano”⁷⁸. Con acierto Humboldt señala que “a medida que avanzamos del oeste al este, recorriendo, en un mismo paralelo de latitud, Francia, Alemania, Polonia y Rusia, hasta la cadena de los montes Urales, vemos a las temperaturas medias del año seguir una serie decreciente”. Como muestra de las diferentes condiciones climáticas entre la costa atlántica europea y las tierras interiores, para una misma latitud, Humboldt apunta como “al noreste de Irlanda, en la misma latitud de Königsberg en Prusia, crece el mirto al aire libre como en Portugal. La temperatura del mes de agosto llega a 21° C en Hungría; mientras que en Dublín, en la misma isoterma de 9,5° C, no pasa de 16° C. Humboldt añade “En las regiones situadas más allá del Ural, los vientos del oeste llegan ya a convertirse en vientos terrales, y al penetrar en aquellas comarcas después de haber soplado sobre grandes extensiones de tierras heladas y cubiertas de nieve, las enfría en lugar de calentarlas”⁷⁹.

La explicación del rigor climático de Siberia encierra un aspecto singular en el *Cosmos* de Humboldt, porque el geógrafo prusiano señala que se debe a esas causas generales apuntadas para los territorios situados al este de los Urales, pero “no a la gran elevación del suelo sobre el nivel del mar”⁸⁰. No se conoce aún, es cierto, la existencia del gran anticiclón, de raigambre térmica, que se ubica sobre esta extensa región de la Rusia asiática, en invierno, favoreciendo el estancamiento del aire frío y dando origen a una masa de aire polar continental –siberiano-⁸¹.

No falta alusión al clima del Nuevo Mundo, al que compara con el de localidades y territorios europeos, situados en idéntica latitud geográfica: “los colonos que vinieron a establecerse entre Carolina del Norte y la desembocadura del río San Lorenzo, se admiraron de experimentar inviernos mucho más fríos que los de Italia, Francia y Escocia, bajo iguales latitudes que las de estos países”⁸². E igualmente sucede cuando relata las condiciones térmicas del Pekín, en el extremo oriental de su cuadro de isotermas: “Los inviernos en Pekín son también, por término medio, dos grados y medio más fríos que los de Copenhague, a pesar de la situación mucho más septentrional de esta última ciudad”⁸³.

77 Humboldt, 2011, p. 177.

78 Humboldt, 2011, p. 177.

79 Humboldt, 2011, p. 177.

80 Humboldt, 2011, p. 177.

81 En la explicación climática de estas regiones del interior de Asia, con un clima continental frío y fuertes contrastes térmicos entre invierno y verano, Humboldt se hace eco de la denominación otorgada por Buffon para caracterizar esta variedad climática: “climas excesivos”; y añade Humboldt que sus habitantes parecen condenados “a sufrir tormentos de calor y frío” como en el purgatorio de Dante (Humboldt, 2011, p. 175)..

82 Humboldt, 2011, p. 172.

83 Humboldt, 2011, p. 174.

Con acierto, apunta Humboldt que la distribución de las cadenas de montaña en la superficie terrestre, que forman grandes cuencas, valles angostos y profundos o valles circulares, “individualizan climas locales”⁸⁴, con “condiciones especiales en relación al calor, a la humedad, a la transparencia de aire y a la frecuencia de los vientos y tempestades”⁸⁵.

Esta descripción de tipos climáticos, a partir del trazado de sus líneas isotermas, isoquimenas e isoterms, tiene una finalidad aplicada: persigue describir el reparto de especies de vegetación, los frutos y cultivos que es posible encontrar en las diferentes bandas de igual temperatura (anual, invierno y verano) en el mundo. Y ello porque Humboldt señala que a la hora de explicar la distribución de los “diferentes géneros de cultivos en los llanos y las vertientes de las montañas, es fácil comprender que sus límites geográficos no están regulados exclusivamente por las temperaturas medias anuales”⁸⁶. Para ello pone el ejemplo de la vid “que produce vino potable” que no sólo requiere una temperatura media anual de 9,5° C, sino que necesita “una temperatura de invierno superior a 0,5°C y al menos 18° C de temperatura media de estío.” Como muestra de ello, señala Humboldt que “jamás he encontrado en parte ninguna del mundo, ni aún en el mediodía de Francia, en España o en las Islas Canarias, tan buenos frutos y, sobre todo, tan hermosos racimos de uva, como en los alrededores de Astrakán, a orillad del mar Caspio. La temperatura media del año es allí aproximadamente de 9° C; la del estío sube a 21,2° como en Burdeos; pero en invierno el termómetro desciende a -25 y a -30°C.

De este modo, manejando los datos medios anuales y estacionales de temperatura es la única forma de entender, según Humboldt, el reparto territorial de los cultivos en la superficie terrestre, desde los que requieren más temperatura (vainilla, cacao, isang o cocotero) a los que no necesitan tanto calor (ananas, caña dulce, café, palmera, limonero, olivo, castaño y vid)⁸⁷.

Ideas sobre movimientos atmosféricos

Humboldt incluye varios párrafos en su *Cosmos* en los que intenta descifrar al movimiento general de los vientos en la atmósfera. Para ello se documenta con las ideas existentes hasta las primeras décadas del siglo XIX y, muy especialmente, con la propuesta contenida en la *Exposición del Sistema del Mundo* de Laplace y en el tratado de Meteorología de Dove.

Laplace había dedicado la parte final del cap. XIII del Libro IV de su *Exposición del sistema del Mundo* a analizar los movimientos de la atmósfera. Resulta curioso observar que, pese a su afán por otorgar carácter matemático a todos los fenómenos naturales, en esta cuestión apostando por el relato de ideas esbozadas en siglos

84 En realidad, Humboldt está describiendo la existencia de variedades regionales de los climas, más que a los climas locales, de extensión mucho menor y rasgos en los elementos climáticos más puntuales.

85 Humboldt, 2011, p. 177.

86 Humboldt, 2011, p. 176.

87 Humboldt, 2011, p. 176.

anteriores y deja abierta, como propuesta final, la necesidad de encontrar leyes que expliquen “la variedad de los movimientos” de la atmósfera⁸⁸. En efecto, Laplace recoge la idea de la existencia de una única “célula” atmosférica -idea apuntada por E. Halley en el siglo XVII- que sería la responsable de la circulación de los vientos entre el ecuador y los polos. Pero incluye, como señalo años después Hadley, la acción de la rotación terrestre que sería la responsable, en última instancia, de la curvatura en la dirección de los vientos, con especial referencia a los alisios del ámbito intertropical. Señala Laplace al respecto que “la velocidad real del aire debida a la rotación de la Tierra es tanto menos cuanto más cerca del polo; de suerte que al avanzar hacia el ecuador debe girar más lentamente que las correspondientes partes de la Tierra... para el observador que se cree inmóvil el aire parece soplar en sentido opuesto al de la rotación de la tierra, es decir, de oriente a occidente: tal es en efecto la dirección de los vientos alisios”⁸⁹.

Laplace es consciente de la dificultad, a finales del siglo XVIII, de encontrar unos principios matemáticos que permitan explicar “todas las causas que alteran el equilibrio de la atmósfera”, debido a su fluidez, elasticidad, la influencia del frío y del calor, la cantidad de vapores que contiene en cada momento y, los cambios que la rotación de la Tierra produce en la velocidad relativa de sus moléculas por el hecho de que se desplacen en el sentido de los meridianos. Y culmina su aproximación a la cuestión atmosférica en su Exposición, anunciando que “será muy difícil someter a leyes ciertas”⁹⁰.

Por su parte, Dove había enunciado su famosa “ley del Giro” en 1827. En ella se relacionaba la dirección del viento en los sistemas isobáricos y la rotación terrestre sobre la circulación atmosférica. Según esta ley, en el hemisferio norte los vientos que se forman como vientos del norte se convierten en vientos del noreste y giran en sentido, norte-noreste-este-sureste-sur, etc, y los vientos del sur se convierten en suroestes y giran en sentido contrario. En el hemisferio sur los giros serían en sentido contrario. En resumen, la “ley de giro” especificaba: que en la Zona Tropical no se producen giros completos, sino una desviación de la dirección proporcional al alejamiento del Ecuador. En las Zonas Tropicales, debido a la distribución desigual de continentes y océanos en ambos hemisferios, sólo se produce un único giro al año en el momento de registrarse la alternancia entre los monzones. Y, asimismo, en las zonas templadas, y probablemente también en las frías, donde la corriente ecuatorial alterna continuamente con la polar, el viento gira en el punto de encuentro en un cierto sentido en el hemisferio norte y en el opuesto en el hemisferio sur. Las conclusiones de Dove pueden sintetizarse del modo siguiente: las corrientes aéreas nacen del contraste térmico, mecanismo que se hace bien patente en los sistemas de brisas de mar y tierra; a los que equipara, a gran escala y con periodicidad estacional, los monzones, resultantes de la diferencia de temperaturas entre la superficie

88 Laplace, 2006, p. 418

89 Laplace, 2006, p. 418.

90 Laplace, 2006, p. 418.

del Océano Índico y la del continente asiático; para el conjunto del globo, causa última de la circulación atmosférica general serían las temperaturas tan dispares entre latitudes ecuatoriales y polares⁹¹.

Con estos supuestos, Humboldt incluye en el *Cosmos* su propuesta de explicación de los vientos en la atmósfera. Para el geógrafo alemán “la diferencia de temperatura entre las regiones equinocciales y las polares engendra dos corrientes opuestas, la una en las altas regiones de la atmósfera, y la otra en la superficie del globo. Como los puntos situados hacia el ecuador y los situados hacia los polos, están animados de velocidades de rotación muy diversas, resulta que la corriente que viene del polo se inclina hacia el este, en tanto que la corriente equinoccial se dirige al oeste”⁹². Para Humboldt de la “lucha” entre estas dos corrientes, del lugar en que la superficie superior cae y toca en la superficie, y de su reciproca penetración, dependen las más importantes variaciones de la presión atmosférica, los cambios de temperatura en las capas de aire y la precipitación de los vapores acuosos condensados. Humboldt, siguiendo a Dove, indica que el aspecto de las nubes anuncia lo que pasa en las altas regiones de la atmósfera.

De esta explicación destacan varias cuestiones: Humboldt, como Laplace o Dove, ha superado la justificación “termoconvectiva” de la circulación atmosférica de Halley y comparte la importancia de incluir la rotación terrestre en la explicación del funcionamiento de los vientos, tal y como avanzó Hadley. No obstante, como Laplace, sigue mencionando la existencia de una única célula de circulación de vientos fríos (polares) y cálidos (ecuatoriales). No obstante, el propio Humboldt, frente a Laplace, aclara que esa célula tendría una extensión entre el ecuador y las latitudes medias. En efecto, en la explicación de la circulación de los alisios, “vientos del este e la zona tropical”⁹³ Humboldt añade que estos vientos “producen remolinos o contracorrientes que imprimen la dirección oeste u oeste-suroeste a los vientos reinantes de las dos zonas templadas”. Humboldt señala que estos vientos del oeste de latitudes medias “son vientos terrales en relación con una costa oriental y vientos marítimos respecto a una costa occidental”⁹⁴.

Sobresale la idea expresada por Humboldt de la presencia en la atmósfera terrestre, de dos capas de aire, una superior y otra inferior, cuya interacción justifica los fenómenos atmosféricos. Humboldt se aventura a esbozar una explicación sobre el funcionamiento de los monzones, que se asemeja a la contenida en la *Geografía Física* de Kant⁹⁵: “Cuando la irradiación obra sobre grandes superficies continentales y oceánicas, cuya posición relativa satisface a ciertas condiciones, como entre la costa oriental de África y la costa occidental de la península india, sus efectos se hacen patentes produciendo los monzones de los mares de la India”⁹⁶. Humboldt

91 Gil Olcina y Olcina Cantos, 2017.

92 Humboldt, 2011, p. 171.

93 Humboldt, 2011, p. 174.

94 Humboldt, 2011, p. 174.

95 Olcina Cantos, 2015.

96 Humboldt, 2011, p. 171.

mantiene en esta cuestión, la mera explicación termo-dinámica (“la declinación del Sol”) para justificar el movimiento de los monzones, causalidad que hace extensiva a las brisas de tierra y mar. Ciertamente es que la incidencia de las corrientes de la alta atmósfera intertropical (jet del este) en la génesis de los monzones, no se conocerá hasta mediados del siglo XX.

En las páginas finales del Libro I del *Cosmos*, Humboldt dedica unas reflexiones finales sobre el clima y los fenómenos meteorológicos. En ellas señala la interconexión entre los fenómenos meteorológicos y se refiere a la necesidad de conocer con antelación los cambios atmosféricos. Para Humboldt hay una diferenciación básica a la hora de interpretar los tiempos y climas sobre la superficie terrestre entre:

- las indicaciones y medidas barométricas que afectan, según él, a todas las capas atmosféricas
- las medidas térmicas o de humedad que son “puramente locales”.

Frente a la contundencia en las afirmaciones sobre las isotermas o sobre otros fenómenos de causa atmosférica que se incluyen en el *Cosmos* (vid. supra), Humboldt reconoce, en los párrafos finales del apartado dedicado a la explicación de la “atmósfera” del Libro I, que queda mucho por hacer para poder sistematizar, con principios y leyes, los movimientos de la atmósfera. Señala la necesidad de interconectar los diferentes elementos climáticos y de relacionar las mediciones que se obtienen en los observatorios situados en la superficie terrestre con las “necesarias” de las capas superiores. Humboldt señala la oportunidad de proceder a realizar observaciones directas “sobre las montañas o en ascensiones aerostáticas”⁹⁷. Y todo porque Humboldt reconoce, con acierto, que “los fenómenos meteorológicos se inician ordinariamente por una perturbación lejana que ocurre en las corrientes de las altas regiones” y de allí trasciende a las capas inferiores. A falta de observaciones en las regiones superiores de la atmósfera, Humboldt señala que “es preciso recurrir a hipótesis que permitan emplear el barómetro como instrumento de medida para el calor y la humedad”⁹⁸.

Discusión. Las ideas climáticas de Humboldt: revisión y actualidad.

El *Cosmos* reúne lo esencial de las investigaciones geográficas desarrolladas por Humboldt a lo largo de su vida; también en materia climática. Cada una de los apartados dedicados al estudio de los elementos integrantes del mundo inorgánico y orgánico de la Tierra del Libro I pueden considerarse como tratados o manuales de síntesis. La cuestión climática no ocupa muchas páginas en su Libro I, pero sintetiza bien los conocimientos de la época y la propia aportación del Humboldt en esta materia, muy centrada, como se ha señalado en su descubrimiento de las líneas isotermas. Estas líneas isotermas nunca fueron representadas por Humboldt sobre un planisferio como tal.

⁹⁷ Humboldt, 2011, p. 184.

⁹⁸ Humboldt, 2011, p. 184.

Las aportaciones de Humboldt a la disciplina climática establecen el inicio de la etapa científica de la misma, por la constatación que lleva a cabo de procesos y elementos atmosféricos a partir de la consulta de datos meteorológicos. Es cierto que, a lo largo de la Edad Moderna, como se ha señalado, se producen aportaciones importantes para la comprensión de la dinámica atmosférica y de varios fenómenos meteorológicos, que desestiman, de una vez por todas, antiguas creencias transmitidas desde época griega y mantenidas durante varios siglos. Pero es a partir de los trabajos de Humboldt en climatología, cuyas ideas principales se contienen en el *Cosmos*, cuando se puede afirmar que la climatología adquiere mayoría de edad como disciplina científica y rama fundamental de la geografía para entender la distribución de los seres vivos sobre la superficie terrestre.

Malte-Brun, en su *Geografía Universal* (1868), definirá el clima “físico” como aquel que comprende “el calor, el frío, la sequedad, la humedad y la salubridad de que goza un punto cualquiera del globo” y añade, con clara influencia de lo señalado por Humboldt para entender la distribución de las bandas de calor en la Tierra que “nueve son las causas del clima físico: la acción del sol en la atmósfera, la temperatura interior del globo, la elevación del terreno sobre el nivel del océano, el declive general del terreno con sus exposiciones locales, la situación de sus montañas respecto a los puntos cardinales, la proximidad de los grandes mares y su situación relativa, la naturaleza geológica del suelo, el grado de cultura y de población a que han llegado los países y los vientos que en ellos reinan”.

Camille Flammarion, en su tratado sobre la atmósfera (1875), ensalza el papel de Humboldt como inventor de la representación cartográfica de las temperaturas a partir de las líneas isotermas: “Para dibujar un cuadro fiel de la distribución de la temperatura en la superficie de la tierra, ha ideado Alejandro de Humboldt, marcar en un mapamundi todos los puntos en los que se han hecho observaciones termométricas formales, anotando los grados observados y trazar luego líneas que pasen respectivamente por todos aquellos puntos cuya temperatura media es la misma”⁹⁹. Flammarion recoge incluso, de forma literal, en el texto de su tratado, las causas que elevan o disminuyen la temperatura de un lugar que Humboldt había descrito en el *Cosmos*; y comenta los mismos ejemplos de localización cartográfica de las isotermas principales en ciudades importantes del hemisferio norte.

Los trabajos sobre las líneas isotermas de Humboldt resultarían determinantes en las aportaciones que realizaría W. Köppen sobre divisiones regionales climáticas¹⁰⁰, en sus diferentes variaciones (clasificación climática biogeográfica en 1884 y la más conocida de carácter algebráico en 1918). Köppen emplearía la isoterma de 10°C, manejada por Humboldt como frontera entre la taiga y la tundra. Unos años antes, en 1879, Supan había identificado el valor de 10 °C (temperatura media del mes más cálido del año) como el límite del bosque templado (la llamada *timber line*).

99 Flammarion, 1875, tomo II, p. 15.

100 Cuesta Domingo, 2008, p. 45.

Resulta interesante referirse, por último, al contexto climático en el que se desarrolla la obra de Humboldt y su comparación con la situación actual de calentamiento térmico inducido por la acción del ser humano. Se ha intentado presentar a Humboldt como iniciador de las ideas de cambio climático, sacando de contexto ideas sobre alteraciones en el medio natural que darían lugar a cambios en la temperatura de un espacio geográfico, reflexiones que se encuentran en pensadores y científicos de los siglos XVII y XVIII. Humboldt, a diferencia de Kant en su *Geografía Física*, no hace mención en el *Cosmos* a las alteraciones experimentadas por el clima terrestre a lo largo de la historia o a las fluctuaciones atmosféricas vividas en su época. El filósofo alemán justificaría estos cambios, en diversos pasajes de su obra, por las transformaciones en el medio natural llevadas a cabo por el ser humano, básicamente la deforestación o la desecación de espacios húmedos¹⁰¹. Humboldt hace constar, por su parte, la importante influencia en las temperaturas actuales -de su época- de la presencia de bosques o zonas húmedas, pero no se interesa por los cambios ocurridos en la historia reciente. Incluso se ha presentado presentando su aportación de las líneas isotermas como la base “para comprender el cambio climático y el calentamiento global”¹⁰², cuando Humboldt lo único que pretendió fue representar la realidad de las diferencias de temperatura existentes en el hemisferio norte, a partir del tratamiento estadístico de los datos de temperatura que se recopilaban en diferentes ciudades.

El interés de la comparación de los datos térmicos aportados por Humboldt en el *Cosmos* con la realidad climática actual, es la mera comprobación del cambio en los registros de temperatura media anual experimentado en algunas ciudades importantes de Europa, América o Asia que recoge Humboldt, tanto en el artículo sobre las líneas isotermas de 1817, como en el *Cosmos*, respecto a los valores actuales (período internacional, 1981-2010) en el contexto de calentamiento térmico planetario por efecto invernadero de causa antrópica. Este incremento es más notable en observatorios situados en interior frente a los de costa. Deber recordarse que a comienzos del siglo XIX, se vive en un contexto climático incierto en el hemisferio norte. El final de la pequeña Edad del Hielo trae consigo una serie de fluctuaciones térmicas, con años cálidos y fríos, donde es notable la influencia de grandes erupciones volcánicas (Laki, Kilauea, Unzen, Tambora). No hay una tendencia térmica definida en las primeras décadas del siglo XIX, aunque diversos análisis¹⁰³ de series térmicas largas, señalan que las temperaturas siguen en esos años iniciales del siglo XIX por debajo de lo normal, esto es, fueron mayoritarios los años fríos o frescos en Europa. Uriarte (2010) señala que el clima de comienzos del siglo XIX estuvo influido por dos aspectos principales: una débil actividad solar, especialmente durante las

101 Olcina Cantos, 2014b.

102 Wulf, 2016, p. 228. Wulf relaciona, de modo forzado, las ideas climáticas de Humboldt con los principios geológicos de Charles Lyell, para interpretar los grandes cambios climáticos ocurridos en la historia geológica de la tierra, a partir del uso de las líneas isotermas. Y señala el empleo actual de los mapas de isotermas en el marco del calentamiento climático actual.

103 Brönnimann, 2015; Harris and Mann, 2018.

dos primeras décadas (mínimo de Dalton) y por los efectos de las erupciones volcánicas señaladas. Alberola Romá (2014) hace mención a la pérdida de regularidad del cambio estacional, con sucesión de años con inviernos rigurosos (1837-38) y suaves y veranos muy calurosos (1826, 1846) o frescos (1812, 1829), como muestra de los desajustes meteorológicos que caracterizaron el final de la Pequeña Edad del Hielo en Europa¹⁰⁴. Sin olvidar la influencia, señalada, de las dos grandes erupciones volcánicas vividas en el tránsito de los siglos XVIII y XIX (Laki y Tambora). Curiosamente, Humboldt no hace mención alguna en el *Cosmos* a condiciones extremas vividas en el clima europeo de las primeras décadas del siglo XIX y al posible efecto de las grandes erupciones volcánicas señaladas¹⁰⁵.

Cuadro 5.-Comparación de temperaturas de diversas localidades europeas incluidas en el Cosmos y situación actual (período internacional 1981-2010)

Observatorio	Tª media anual (Cosmos de Humboldt)	Tª media anual (1980-2010)
París ¹⁰⁶	10,6°C	12,3°C
Estrasburgo ¹⁰⁷	9,8°C	10,9°C
Berlín ¹⁰⁸	8,6°C	10,3°C
Dublín ¹⁰⁹	9,5°C	9,8°C
Filadelfia ¹¹⁰	11,9°C	13,2°C
Nueva York ¹¹¹	12,1°C	12,9°C
Pekín ¹¹²	12,6°C	12,9°C

Fuente: Humboldt, *Cosmos*, Libro I y elaboración propia a partir de datos de los servicios meteorológicos nacionales y OMM.

104 Esta situación de fluctuaciones constantes en los tiempos atmosféricos y pérdida de la regularidad climática en las primeras décadas del s. XIX presentó singularidades específicas en el caso español, con sucesión de años secos y hambrunas, salpicadas de fuertes riadas. Y a ello se unió la precaria situación financiera por los continuos conflictos bélicos con Inglaterra y Francia, para conformar el desarrollo de varios años de hambre en los primeros lustros de dicho siglo (Alberola Romá, 2014, p. 238-248)

105 El Libro IV del *Cosmos* incluye una descripción detallada de los principales volcanes existentes en la Tierra, pero no se hace mención a las erupciones del Laki o del Tambora. En el Atlas publicado como, complemento del *Cosmos*, por Traugott Bromme en 1851, se incluye una lámina (nº12) que representa la actividad volcánica global y donde se incluyen tanto la erupción del Laki como la del Tambora (vid. "Vulkanischen erscheinungen der Erdoberfläche" (plate 12). Lithograph map, with added color, 20.2 × 28 cm. From Traugott Bromme's *Atlas zu Alex. v. Humboldt's Kosmos in zweiundvierzig tafeln mit erläuterndem texte*, Kraus & Hoffmann, Stuttgart, 1851).

106 Datos actuales procedentes de MeteoFrance. Disponibles en: http://www.meteofrance.fr/documents/10192/22603710/brochure_MF_APC_Le_changement_climatique_à_Paris.pdf. Consultado: agosto 2019.

107 Datos actuales procedentes de MeteoFrance. Disponibles en: http://www.meteofrance.fr/documents/10192/22603710/brochure_MF_APC_Le_changement_climatique_à_Paris.pdf. Consultado: agosto 2019.

108 Datos actuales procedentes del DWD. Estación de Berlin-Tempelhof.

109 Datos actuales obtenidos del Servicio Meteorológico de Irlanda (Irish Meteorological Service): disponibles en <https://www.met.ie/climate-ireland/1981-2010/dublin.html>

110 Datos actuales procedentes del National Weather Service Forecast Office, Philadelphia/Mount Holly.

111 Datos actuales procedentes del National Weather Service Forecast Office, New York.

112 Datos actuales procedentes de The Climate of Beijing], *Weather and Climate*.

La comparación de los datos presentados por Humboldt tanto en su opúsculo sobre las líneas isotermas, como en el *Cosmos*, con los registros actuales, debe tener en cuenta, en todo caso, la diferencia de tamaño de las series térmicas manejadas por el geógrafo alemán y las diferencias en el aparataje empleado entonces y en las propias condiciones de observación. Y ello porque en algunos casos sorprende que el incremento térmico no resulte mayor (Cuadro 5).

Por su parte, en relación con la ubicación de la línea de nieves perpetuas, cuestión geográfica tan apreciada por Humboldt, merece la pena comparar las altitudes indicadas por el geógrafo alemán en el *Cosmos*, con la posición actual de la línea de nieves perpetuas, en un contexto climático actual muy distinto en el que se escribe esta obra (Cuadro 6).

Cuadro 6.-Comparación de la localización de la línea de nieves perpetuas en el *Cosmos* de Humboldt y en la actualidad.

Cadena montañosa o zona geográfica	Limite de las nieves perpetuas (Humboldt, <i>Cosmos</i>)	Limite de las nieves perpetuas actual
Himalaya	3956-4068 m.	4000-5200 m.
Andes Chile	4420-4580 m.	5800-6500 m.
Zona templada	2700 m.	2900-3200 m.
Zona ecuatorial (Chimborazo)	4800 m.	5000 m.
Zona glaciar	1050 m.	1500 m.

Elaboración propia a partir de los datos aportados por Humboldt en el *Cosmos*. Los datos actuales a partir de Cano Sánchez, J.; Huss et al.; La Frenierre and Mark.

Humboldt no es, como señala algún estudio reciente¹¹³, ni el precursor de las ideas actuales de cambio climático¹¹⁴ ni de las ideas del “ecologismo” que en ambos casos, no se desarrollarán hasta los años finales del siglo XIX. Gómez Mendoza ha destacado que la gran aportación del erudito alemán es la visión integral de la naturaleza, los estudios de geografía regional (Asia Central), los estudios geológicos comparados, su concepción de la geografía de las plantas y de la distribución de los seres vivos; sin embargo, es notorio el silencio sobre su contribución a la biología evolutiva¹¹⁵, a pesar de la admiración inicial por la obra del geógrafo alemán que mostraría el propio Darwin¹¹⁶.

Conclusiones

Humboldt es el primer geógrafo considerado como tal de una disciplina que se va consolidando como ciencia en la primera mitad del siglo XIX, debido en gran medida a sus aportaciones en distintas ramas de la geografía. Auna un amplio bagaje

¹¹³ Wulf, 2016.

¹¹⁴ Cushman, 2011

¹¹⁵ Gómez Mendoza, 2020 (en prensa).

¹¹⁶ Armstrong, 1999.

cultural, procedente de innumerables lecturas sobre diferentes ramas científicas y sus avances relacionados con lo que acontece en la Tierra en su época y un sentido empírico del conocimiento que le impulsa a comprobar, de primera mano, las aproximaciones teóricas a los hechos de la naturaleza.

Hay dos virtudes principales en la obra de Humboldt que la historia del pensamiento geográfico debe destacar: la apuesta por la globalidad necesaria, según Humboldt, para el conocimiento de los fenómenos de la naturaleza y la aportación de un método de trabajo que otorga sistemática en la explicación de dichos fenómenos. Y, junto a ello, la necesidad de integrar los hechos del medio natural con las acciones que lleva a cabo el ser humano para comprenderlo, para adaptar sus actuaciones o para aprovecharlo.

En este contexto, Humboldt inaugura la climatología geográfica bajo los supuestos de la nueva ciencia positiva, en sentido estricto. Conoce bien los antecedentes básicos que habían dado impulso al conocimiento del tiempo y clima a lo largo de la edad Moderna (Acosta, Vareño, Kant) e incorpora la medición con aparatos y el uso de datos registrados en las primeras redes de observación de Eurasia y Norteamérica, como aval de validación numérica de principios conocidos y de nuevas ideas.

La teoría de las isotermas es mucho más que el propio trazado de una isolinia sobre un mapamundi, es una climatología sobre el reparto del calor sobre la superficie terrestre. La localización precisa de la altitud de las nieves perpetuas es otra gran aportación de Humboldt para el conocimiento del clima de montaña. Y sus ideas sobre electricidad atmosférica o reparto mundial de precipitaciones representan avances importantes para la climatología básica y regional. Su intuición sobre la importancia de las corrientes aéreas de altitud como pieza básica de la circulación atmosférica y el consejo de impulsar las observaciones de las capas altas, inaugura un período fundamental de descubrimientos sobre climatología sinóptica y dinámica que culminará a mediados del siglo XX.

Las disciplinas científicas no suelen evolucionar a saltos, con cambios radicales de paradigmas, pero necesitan de impulsos que recojan los conocimientos existentes y aporten nuevas ideas y maneras de hacer que las hagan avanzar. Las mejoras instrumentales juegan, a veces, un papel decisivo en este proceso. Humboldt es, para la geografía, un pensador fundamental en la evolución de la disciplina, por su sentido de integración de los hechos que se dan sobre la superficie terrestre, la incorporación de datos de observación y su apuesta por un método que otorgara carácter científico a la descripción geográfica. Un impulso determinante en la evolución posterior de esta ciencia.

Bibliografía

ALBENTOSA SÁNCHEZ, Luis Miguel. *La climatología analítica: método de estudio y validez de los resultados*. Universitas Tarraconensis. Revista de Geografía, Història i Filosofia, 1976, n° 1, p. 91-113.

- ALBENTOSA SÁNCHEZ, Luis Miguel. *Climatología y Medio Ambiente. Profesor Luis Miguel Albentosa Sánchez*. Col. Homenajes. Barcelona: Publicacions de la Universitat de Barcelona, 1990, 616 p.
- ALBEROLA ROMÁ, Armando. *Los cambios climáticos. La Pequeña Edad del Hielo en España*. Madrid: Ed. Cátedra, 2014, 341 p.
- ARMSTRONG, Patrick. Charles Darwin's Image of the World. The influence of Alexander von Humboldt on the Victorian Naturalist. En Anne Buttner et al. (ed.) *Text and Image. Social Construction of Regional Knowledge*. Leipzig: Institut für Landeskunde, 1999.
- BECK, Hanno. La obra sobre Cuba de Alejandro de Humboldt como fuente de conocimiento. En *Alejandro de Humboldt en Cuba*. La Habana: Ed. Oficina del Historiador de la Ciudad de la Habana, 1997, p. 37-50.
- BERGHAUS, Heinrich. *Physikalischer Atlas*. Berlín: Ed. J. Gotha, 1838.
- BRÖNNIMANN, Stefan. *Climatic Changes since 1700*. Col. Advances in Global Change Research, 55. New York: 2015, Springer, 360 p.
- BUTTIMER, Anne. Beyond humboldtian science and Goethe's way of science: challenges of Alexander von Humboldt's geography. *Erdkunde*, 2001, vol. 55.
- CANO SÁNCHEZ, Javier. Nieves perpetuas, en *Calendario Meteorológico 1997*. Madrid: INM, Ministerio de Medio Ambiente, 1997, p. 275-282
- CAPEL, Horacio. *Filosofía y Ciencia en la Geografía contemporánea*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 2012, 480 p.
- CAPEL, Horacio. Ambientalismo e Historia. El padre Las Casas como geógrafo. En *Aportaciones en homenaje al Profesor Luis Miguel Albentosa*, Diputació de Tarragona, 1993, p. 246-270 (CL); Reproducido en *Suplementos. Materiales de Trabajo Intelectual*, Barcelona: Editorial Anthropos, nº 43, abril 1994 (Nº especial sobre "La Geografía Hoy. Textos, Historia y Documentación"), p. 51-59.
- CAPEL, Horacio. América en el nacimiento de la Geografía moderna, o sea de las crónicas medievales a las crónicas de Indias pasando por Plinio y el descubrimiento de las tierras nuevas, en *Suplementos. Materiales de Trabajo Intelectual*, Barcelona, Editorial Anthropos, nº 43, (Nº especial sobre "La Geografía Hoy. Textos, Historia y Documentación"), 1994, p. 42-51. (Comunicación al Coloquio sobre "Intercambios científicos y culturales en la Era de los Descubrimientos: flujo y reflujo entre España y América", organizado por la Comisaría General de la EXPO 92, Sevilla, 1990).
- CAPEL, Horacio. El desafío de América al pensamiento científico. *Revista Universitaria*, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, nº 27, 1989 p. 29-38. Consultado en la reproducción de este trabajo editado en *Suplementos. Materiales de Trabajo Intelectual*. Barcelona: Editorial Anthropos, nº 43, abril 1994 (Nº especial sobre "La Geografía Hoy. Textos, Historia y Documentación"), p. 148-158.
- CAPEL, Horacio. *La Física Sagrada. Creencias religiosas y teorías científicas en los orígenes de la geomorfología española*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1985. 224 p.

- CAPEL, Horacio. La Geografía como ciencia matemática mixta. La aportación del círculo jesuítico madrileño en el siglo XVII. *Geo Crítica*, Universidad de Barcelona, 1980, nº 30, p. 1-35. Reproducido en <<http://www.ub.es/geocrit/geo30.htm>>.
- CARRAMOLINO, David. La dinámica atmosférica en la *Physische Geographie* (1756) de KANT. *Endoxa: Series Filosóficas*, nº 1, Madrid: UNED, 1993, p. 341-357.
- CARRAMOLINO, David. La “Ley de Giro” de Dove y el nacimiento de la dinámica atmosférica en Alemania, *Endoxa: Series Filosóficas*, nº 3, Madrid: UNED, 1994, p.95-119.
- CUESTA DOMINGO, Mariano. Humboldt, viajero geógrafo. In *Alexander von Humboldt, estancia en España y viaje americano* (Cuesta Domingo, M. y Rebok, S., coords.), Madrid: Real Sociedad Geográfica, CSIC, 2008, p. 19-67.
- CUSHMAN, Gregory T. *Humboldtian science, creole meteorology and the discovery of human-caused climate change in South America*. Osiris, 2011, vol. 26.
- FLAMMARION, Camile. *La Atmósfera. Descripción de los grandes fenómenos de la naturaleza*. Tomo II. Madrid: Imprenta y Librería de Gaspar, editores, 1875, 425 p.
- GÓMEZ MENDOZA, Josefina. La historia de la geografía de los descubrimientos: una obra monumental en la que Humboldt invirtió treinta años. Estudio Introductorio, en *Examen Crítico de la Historia de la Geografía del Nuevo Continente de Alexander von Humboldt*, Madrid: Edición de. 2020. (en prensa). Original cedido por la autora.
- GÓMEZ MENDOZA, Josefina; MUÑOZ JIMÉNEZ, Julio y ORTEGA CANTERO, Nicolás. *El pensamiento geográfico*. (2ª ed.). Madrid: Alianza Universidad Textos, 1998, 545 p.
- GÓMEZ MENDOZA, Josefina y SANZ HERRAIZ, Concepción. De la biogeografía al paisaje en Humboldt: pisos de vegetación y paisajes andinos equinocciales. *Población y Sociedad. Revista de Estudios Sociales*, 2010, nº 17, p. 29-57.
- GREVSMÜHL, Sebastian Vincent. Visualing Climate and Climate Change. En Feola, Giuseppe, Geoghegan, Hilary and Arnall, Alex, eds. *Climate and Culture. Multidisciplinary perspectives on a warming world*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019, p. 46-68.
- HADLEY, George. Concerning the cause of the general trade-winds. *Philosophical Transactions, 1735-1736*, 39, published 1 January 1735. (Ed. Royal Society, on line). Consultado: agosto 2019.
- Halley, Edmund. An Historial Account of the Trade Winds, and Monsoons, observable in the Seas between and near the Tropicks, with an attempt to assing the phisical cause of the said winds. *Philosophical Transactions*, 1686, nº 183, p. 153-168.
- HARRIS, Cliff and MANN, Randy. *Global Temperature trends from 2.500 B.C to 2040 A.D*, LongRange Weather, 2018. Disponible en: http://www.longrangeweather.com/global_temperatures.htm. Consultado en: agosto 2019.

- HARSTSHORNE, Richard. El concepto de geografía como ciencia del espacio: de Kant y Humboldt a Hettner. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 1991, 18, Universitat Autònoma de Barcelona, p. 31-54.
- HERRERA, Adrian. Entre el ensayo y la práctica enciclopédica: El *Essai sur les mœurs et l'esprit des nations* de Voltaire y el *Kosmos* de Alexander von Humboldt. *Trans-Revue de littérature générale et comparée*, 2019, 23. URL : <http://journals.openedition.org/trans/2250>. Consultado: agosto 2019.
- HEYMANN, Matthias. The evolución of climate ideas and knowledge. *Climate Change*, 2010, vol. 1, p. 580-596.
- HUMBOLDT, Alejandro de. Noticia de la configuración del suelo de España y de su clima", en *Inventario descriptivo de las provincias de España y de sus islas y posesiones en el Mediterráneo* (Labordé, A. ed.), Imprenta de Ildefonso Monpoié, Valencia, 1816. (Reproducido en Puig-Samper, Miguel Angel y Rebok, Sandra Sentir y medir. Alexander von Humboldt en España. Madrid: Ed. Doce Calles, 2007, pp. 177-181.
- HUMBOLDT, Alexander von. Des lignes isothermes et de la distribution de la chaleur sur le globe, Paris: L'Imprimerie de V^o H. Perronneau, 1817, 145 p.
- HUMBOLDT, Alexander von. Des lignes isotherme et de la distribution de la chaleur sur le globe. *Mémoires de physique et de chimie de la Société d' Arcueil*, 1817b, n^o 3, p. 462- 602.
- HUMBOLDT, Alejandro de. Sobre la configuración y el clima de la meseta de la Península Ibérica, 1825 (Reproducido en Puig-Samper, Miguel Angel y Rebok, Sandra Sentir y medir. Alexander von Humboldt en España. Madrid: Ed. Doce Calles, 2007, p. 181-200.
- HUMBOLDT, Alexander von: *Cosmos*. Ensayo de una descripción física del mundo. Traducción de Bernardo Giner y José de Fuentes. Madrid: Imprenta de Gaspar y Roig, Editores, 1874-75, 4 tomos.
- HUMBOLDT, Alejandro de. *Cosmos*. Ensayo de una descripción física del mundo. Biblioteca Hispano-Sur-Americana. Belgica: Eduardo Perié, editor. 1875, 2 tomos, 579 p. Disponible en: <https://archive.org/details/cosmosensayodeun01humbuoft/page/n6>. Consultado: agosto 2019.
- HUMBOLDT, Alejandro de. Vistas de las cordilleras y monumentos de los pueblos indígenas de América. Ed. a cargo de Nicolás Ortega Cantero. Madrid: Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid y Marcial Pons, ediciones de Historia, 2012, 371 p.
- HUMBOLDT, Alejandro de. *Cosmos*. Ensayo de una descripción física del mundo. Buenos Aires: Ed. Glem, 1944, 601 p.
- HUMBOLDT, Alexander von. *Cosmos*. Ensayo de una descripción física del mundo (edición e introducción de Sandra Rebok). Madrid: Los libros de la Catarata y Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2011, 959 p. + 2 mapas.
- HUSS, Matthias et al. Toward mountains without permanent snow and ice, in *Earth future*. 2017, vol. 5, issue 5, p. 418-435.

- KNOBLOCH, Eberhard. Alexander von Humboldt: The explorer and the scientist. Centaurus, 2007, vol. 49, p. 3–14.
- KNOBLOCH, Eberhard. Alexandre de Humboldt et le Marquis de Laplace. In HiN, Humboldt im Netz. Internationale Zeitschrift für Humboldt-Studien (Potsdam, Berlin) 2014, vol. XV, nº 29, p. 26-38. Disponible en: https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/8481/file/hin29_knobloch_S26-38.pdf. Consultado: agosto 2019.
- KUPFFER, Adolf Theodor. "Distribution de la temperatura moyane du sol ou lignes isogeothermes". Annalen der Physik un Chemie, 1829, nº 2. Extrait, p. 104-113.
- LA FRENIERRE, Jeff and MARK, Bryan G. Detecting Patterns of Climate Change at Volcán Chimborazo, Ecuador, by Integrating Instrumental Data, Public Observations, and Glacier Change Analysis, Annals of the American Association of Geographers, 2017, nº 107:4, p. 979-997.
- LAPLACE, Pierre-Simon. Exposición del Sistema del Mundo. Ed. de Javier Ordóñez y Ana Rioja. Madrid: Ed. Crítica, Clásicos de la Ciencia y la Tecnología, 2006, 608 p.
- MEINHARDT, Maren. Alexander von Humboldt. El anhelo por lo desconocido. Madrid: Turner, 2019, 317 p.
- MIRANDA, Miguel Angel. El *Cosmos*, entre la crisis de la ilustración y el romanticismo alemán. GeoCrítica. Año II, 1977, nº 11, Universidad de Barcelona. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/geol1.htm>. Consultado: agosto 2019.
- NORTON WISE, Matthew. What Can Local Circulation Explain? The Case of Helmholtz's Frog-Drawing- Machine in Berlin, Journal of History os Science and Technology, 2007, vol. 1, p. 15-63.
- OLCINA CANTOS, Jorge. Referencias atmosféricas y avances para la ciencia climática en la obra de José de Acosta. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2014, vol. XVIII, nº 478. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-478.htm>>.
- OLCINA CANTOS, Jorge. Enseñanzas climáticas en la obra de Kant, Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 2014b, vol. 34, nº 2, p. 119-162.
- ORDÓÑEZ, Javier y RIOJA, Ana. Introducción. Exposición del Sistema del Mundo. Madrid: Ed. Crítica, Clásicos de la Ciencia y la Tecnología, 2006, p. 9-81.
- PÉDELABORDE, Piere. Introduction à l'étude scientifique du climat, Paris: Centre de Documentation Universitaire, 1959, 150 p.
- PELKOWSKI, Joaquín. Teoría de los Alisios durante la Ilustración (I y II). Boletín de la Asociación Meteorológica Española (5ª etapa), 2006-2007, nº 14 y 15.
- PUIG-SAMPER MULERO, Miguel Ángel y REBOK, Sandra. Sentir y medir. Alexander von Humboldt en España. Madrid: Ediciones Doce calles, 2007, 394 p.
- PUIG-SAMPER MULERO, Miguel Ángel y REBOK, Sandra. Alexander von Humboldt y el relato de su viaje americano redactado en Filadelfia. Revista de Indias, 2002, vol. LXII, nº 224, p. 69-84.

- REBOK, Sandra. The influence of Bernhard Varenius in the geographical works of Thomas Jefferson and Alexander von Humboldt. In Bernhard Varenius (1622-1650), Ed. Brill, 2008, p. 259-270.
- REBOK, Sandra (ed.). Transpasar fronteras. Un siglo de intercambio científico entre España y Alemania. Madrid: Ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Deutscher Akademischer Austausch Dienst, 2010, 434 p.
- REBOK, Sandra. Introducción, en Cosmos Ensayo de una descripción física del mundo. Madrid: Los Libros de la Catarata, 2011, pp. XV - XXXVII.
- RICHARDS, Robert J. The Romantic Conception of Life: science and philosophy in the age of Goethe. Chicago and London: Chicago University Press, 2002, 587 p.
- ROBSON Benjamin A., NUTH Christopher, NIELSEN Pål R., GIROD Luc, HENDRICKX Marijn, DAHL Svein Olaf Spatial Variability in Patterns of Glacier Change across the Manaslu Range, Central Himalaya. *Frontiers in Earth Science*, 2018, vol. 6, 12 pp. DOI=10.3389/feart.2018.00012. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2018.00012/full>. Consultado: agosto 2019.
- SLOTERDIJK, Peter. En el mundo interior del capital. Para una teoría filosófica de la globalización. Madrid: Ed Siruela, 2019, 332 p.
- SOLE SABARÍS, Luis. "Sobre el concepto de meseta española y su descubrimiento", Homenaje al Excmo. Sr. D. Amando Melón y Ruiz de Gordejuela. Instituto de Estudios Pirenaicos, 1966, p. 15-46.
- THOMAS, Christian and ERDMANN, Dominik. From de concept of Isothermal Lines (1817) to the Principal Causes of the difference os temperatura on the Globe (1827-1830-1855). Berlín. 2015. Disponible en: <https://www.culture.hu-berlin.de/de/forschung/projekte/hidden-kosmos/media/thomas-erdmann-2015-reading-example.pdf>. Consultado: agosto 2019.
- TOLLEY, Kim. Learning from nature: Alexander von Humboldt's influence on young women's geography and natural history education in nineteenth-century America. *Paedagogica Historica*, 2019, p. 1-20.
- URIARTE, Antón. Historia del Clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 2009, 403 p. Disponible en: <http://www.divulgameteo.es/uploads/Historia-clima-Tierra.pdf>. Consultado: agosto 2019.
- URTEAGA, Luis. La teoría de los climas y los orígenes del ambientalismo. *Geocrítica*, 1993, año XVIII, nº 99, Universidad de Barcelona. Disponible en [http:// www.ub.edu/geocrit/geo99.htm](http://www.ub.edu/geocrit/geo99.htm). Consultado: agosto de 2019.
- VARENIO, Bernard. *Geographia generalis, in qua affectiones generales telluris explicantur*. Amstelodami: Ex Officina Elzeviriana, 1664, 748 p.
- VARENIO, Bernard. *Geografía General, en la que se explican las propiedades generales dela Tierra, (Edición y estudio preliminar de Horacio Capel)*, Barcelona: Ediciones de la Universidad de Barcelona, 1974, 147 p.
- VV.AA. Alejandro de Humboldt en Cuba. La Habana: Ed. Oficina del Historiador de la Ciudad de la Habana, 1997, 132 p.

- VIAS, Julio. Felipe Bauza, un marino ilustrado en la cumbre de Peñalara, Peñalara, Revista Ilustrada de Alpinismo, 2010, nº 532, p. 86-89.
- WALLS, Laura Dassow. The Passage to Cosmos. Alexander von Humboldt and the Shaping of America. Chicago: Chicago University Press, 2009, 403 p.
- WOODBIDGE, William C. Isothermal Chart, or View of Climates & Production, Drawn from the Accounts of Humboldt & Others. Connecticut: Published by Hartford: Oliver D. Cook & Sons, 1823.
- WULF, Andrea. La invención de la naturaleza. El Nuevo Mundo de Alexander von Humboldt. Madrid: Ed. Taurus, 2016, 584 p.

© Copyright: Jorge Olcina, 2020

© Copyright: Scripta Nova, 2020.

Ficha bibliográfica:

OLCINA, Jorge. La aportación a la ciencia climática de A. de Humboldt en el *Cosmos*. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, 15 de octubre de 2020, vol. XXIV, nº 648. [ISSN: 1138-9788]